Chiar.mo Prof. Federico Sacco Cordiali omaggi di A. Roccati

MANUALI DI SCIENZE FISICHE E NATURALI

E 4238

ALESSANDRO ROCCATI

GEOLOGIA
E
GEOGRAFIA FISICA

SECONDA EDIZIONE
riveduta e completata
in base agli ultimi programmi

Con 175 figure nel testo

MISCELLANEA SACCO

SCIENZE
RA
8
TORINO

UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE
(già fratelli Pomba Libraj in Principio della Contrada di Pò - 1796)

3238

MISCELLANEA SACCO

ELEMENTI DI GEOLOGIA

E GEOGRAFIA FISICA

Prof. ALESSANDRO ROCCATI
della R. Scuola di Ingegneria di Torino

MISCELLANEA SACCO

E 4238

ELEMENTI
DI
GEOLOGIA
E
GEOGRAFIA FISICA

AD USO
DEI LICEI E DEGLI ISTITUTI TECNICI

SECONDA EDIZIONE
riveduta e completata in base agli ultimi Programmi.

Con 175 figure nel testo

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
INVENTARIO
N. 17641

TORINO
UNIONE TIPOGRAFICO-EDITRICE TORINESE
(già fratelli Pomba Libraj in Principio della Contrada di Pó - 1796)
1926

3238

PROPRIETÀ LETTERARIA

Torino - Soc. Tip. Ed. Lobetti-Bodoni (S.T.E.L.B.) - 1926.

INDICE

INTRODUZIONE

Definizione ed oggetto della Geologia - Cenno storico della Geologia - Divisione della Geologia - Applicazioni della Geologia . . . . . *Pag.* 1

PARTE PRIMA

Geomorfologia o Geografia fisica.

CAPITOLO I. **Generalità sulla Terra.** — La Terra nel sistema solare - Forma della Terra - Dimensioni della Terra - Densità della Terra - Movimenti della Terra - Coordinate geografiche - Carte geografiche - Loro modo di costruzione - Cenno sul sistema solare - Sole - Gli altri pianeti del sistema solare - Asteroidi - Luna - Ipotesi di Laplace . . . . . *Pag.* 7

CAPITOLO II. **L'atmosfera.** — Altezza dell'atmosfera - Composizione dell'atmosfera - Colore dell'atmosfera - Pressione atmosferica e sue variazioni - Distribuzione del calore alla superficie terrestre - Temperature medie; loro variazioni - Climi e loro divisione . . . . . » 18

CAPITOLO III. **Movimenti dell'atmosfera.** — Equilibrio instabile delle masse atmosferiche - Venti - Venti alisei - Venti contro-alisei - Monsoni - Brezze - Venti irregolari - Venti locali . . . . . » 24

CAPITOLO IV. **Umidità e precipitazione atmosferica.** — Umidità atmosferica - Rugiada e brina - Nebbie e nubi - Distribuzione delle piogge - Neve e grandine . . . . . » 29

CAPITOLO V. **I Continenti.** — Distribuzione dei continenti e degli oceani alla superficie terrestre - Forma dei continenti - Rilievi continentali - Montagne e loro diversi tipi - Valli - Pianure - Isole - Laghi - Paludi - Fiumi . » 35

CAPITOLO VI. **Il Mare ed i suoi movimenti.** — Superficie e distribuzione delle masse oceaniche - Livello del mare - Profondità oceaniche; morfologia dei fondi marini - Salsedine marina - Densità dell'acqua del mare - Temperatura delle acque del mare - Trasparenza e colore delle acque del mare - Pressione nelle profondità marine - Movimenti del mare . . . . . » 52

CAPITOLO VII. **Biogeografia.** — a) *Fitogeografia:* Ecologia - I fattori della ripartizione delle piante - Influenza del suolo. Pedologia - Tipi fondamentali di vegetazione - Formazioni. Stazioni ed associazioni - Distribuzione dei vegetali alla superficie del globo - Vegetazione oceanica . . . . . » 64

b) *Zoogeografia:* Circostanze influenti sulle condizioni di vita e la distribuzione degli animali - Dominii zoologici - Distribuzione degli animali nel dominio continentale - Dominio marino. Condizioni generali dell'*habitat* acquatico - Dominio litoraneo - Dominio pelagico - Dominio abissale - Dominio delle acque dolci . . . . . » 76

c) *L'uomo e le sue razze:* Antichità dell'uomo - Razze umane primitive - Razze umane attuali . . . . . » 82

PARTE SECONDA

Dinamica terrestre o Geodinamica.

Esodinamica.

Capitolo I. **Azione dell'atmosfera.** — a) *Azione chimica:* Limonitizzazione Caolinizzazione - Laterizzazione e formazione di ossidi di alluminio e di ferro - Ferrettizzazione - Serpentinizzazione - Dolomitizzazione - Lapiez e Terra rossa . . . . . *Pag.* 87
b) *Azione fisico-meccanica:* Azione della temperatura e della siccità - Azione del fulmine - Azione del vento - Dune - Loess . . . . . » 91
Capitolo II. **Azione delle acque di infiltrazione.** — Penetrazione dell'acqua nell'interno del suolo. Falde acquee - Sorgenti - Pozzi ordinari e artesiani - Fenomeni carsici - Fenomeni erosivi. Grotte e caverne - Fenomeni di deposito. Incrostazioni e concrezioni; stalattiti e stalagmiti - Frane e scoscendimenti - Depositi ferruginosi. Alios . . . . . » 101
Capitolo III. **Azione delle acque superficiali.** — Acque di dilavamento o acque selvagge - Torrenti - Fiumi - Lagune . . . . . » 114
Capitolo IV. **Azione dei ghiacciai.** — Trasformazione della neve in ghiaccio. Origine dei ghiacciai - Movimento dei ghiacciai - Crepacci e seracchi - Morene - Classificazione dei ghiacciai. Loro dimensioni, pendenze, ecc. - Ablazione dei ghiacciai - Erosione glaciale - Variazioni attuali dei ghiacciai - Ghiacciai polari - Ghiacciai della Groenlandia - Periodi glaciali . . . » 131
Capitolo V. **Azione del mare.** — Forza meccanica delle onde - Terrazzi litoranei - Dirupi o *falaises* - Altre conseguenze dell'erosione marina - Sedimenti marini di origine minerale e di origine organica - Pelagosite . . » 151
Capitolo VI. **Azione degli organismi.** — Calcari zoogenici - Brecce ossifere - Diaspri - Fosforiti - Guano - Formazioni coralline o madreporiche - Tripoli - Torba - Altri combustibili fossili - *Kjoekkenmoeddings* . . . . . » 156

Endodinamica.

Capitolo VII. **Calore terrestre.** — Grado geotermico - Condizioni attuali dell'interno del globo - Acque termali, termo-minerali e minerali - Classificazione delle acque minerali . . . . . *Pag.* 166
Capitolo VIII. **Movimenti del suolo.** — a) *Terremoti:* Definizione di terremoto. I diversi tipi di scosse - Intensità e durata del fenomeno sismico - Estensione dei movimenti sismici - Propagazione dell'onda sismica - Effetti meccanici dei terremoti - Fenomeni precursori e concomitanti delle scosse - Maremoti - Apparecchi registratori dei terremoti. Sismogrammi - Causa dei terremoti . . . . . » 171
b) *Bradisismi:* Spostamenti delle linee di spiaggia - Bradisismi positivi e negativi; loro prove - Esempi regionali di bradisismi - Spiegazione dei bradisismi . . . . . » 181

CAPITOLO IX. **Vulcanismo.** — Vulcano. Sue parti. Fasi dell'attività vulcanica - Fenomeni precursori - Fase di esplosione - Fase di deiezione. Lave e loro costituzione - Raffreddamento della lava - Temperatura delle lave - Velocità della lava. Dimensioni delle colate - Formazione di caverne nelle lave. Lave colonnari - Fase di emanazione - Eruzioni sottomarine - Distribuzione geografica dei vulcani - Ipotesi sull'origine del vulcanismo - Laccoliti . *Pag.* 186

CAPITOLO X. **Fenomeni endogeni secondari.** — *Geysers* - Soffioni boraciferi - Salse o vulcani di fango - Fontane ardenti - Petrolio . . . . . » 212

PARTE TERZA

Geognosia.

CAPITOLO I. **Petrografia.** — Definizione di roccia; suoi componenti - Principali minerali costituenti delle rocce - Struttura delle rocce - Classificazione delle rocce - Rocce originarie semplici - Rocce composte feldspatiche antiche - Rocce feldspatiche recenti - Rocce non feldspatiche - Rocce schistose - Rocce clastiche o frammentarie . . . . . *Pag.* 220

CAPITOLO II. **Paleontologia.** — Fossili e fossilizzazione - Diversi modi di fossilizzazione . . . . . » 230

CAPITOLO III. **Tettonica.** — Formazioni - Stratigrafia. Definizione dello strato - Determinazione della posizione di uno strato - Stratificazioni concordanti e discordanti - Ripiegatura degli strati - Diversi tipi di pieghe - Carreggiamenti - Fenomeni di frattura - Orogenesi. Formazione dei rilievi terrestri » 234

CAPITOLO IV. **Geologia storica.** — Divisione della Geologia storica. Ere . . » 243

a) *Era arcaica:* Considerazioni generali - Divisione dell'Arcaico - Fossili dell'Arcaico - Distribuzione geografica dell'Arcaico . . . . . » 244

b) *Era paleozoica o primaria:* Considerazioni generali - Divisione dell'Era paleozoica: Fossili caratteristici e distribuzione . . . . . » 246

c) *Era mesozoica o secondaria:* Considerazioni generali - Divisione dell'Era mesozoica . . . . . » 257

d) *Era cenozoica o terziaria:* Considerazioni generali - Divisione del Cenozoico . . . . . » 267

e) *Era antropozoica o quaternaria* . . . . . » 276

INTRODUZIONE

Definizione ed oggetto della Geologia. — La *Geologia,* secondo il senso etimologico della parola (1), è *la scienza che tratta della Terra.*

Essa, infatti, si propone in primo luogo di farne conoscere le condizioni attuali; di ricercare e spiegare, nell'origine e negli effetti, i molteplici fenomeni naturali a cui continuamente essa va soggetta; di studiare quali sono i materiali che la costituiscono, sia alla superficie che nell'interno; quale sia l'origine di questi materiali, quale la loro distribuzione ed i loro rapporti; quali fattori hanno esercitato la loro influenza su di essi e quali trasformazioni hanno subìto attraverso la lunga serie dei secoli. Fu quindi detto giustamente che il Geologo è lo *storiografo della Terra.*

Che la Terra vada soggetta a mutamenti della sua superficie, in modo da esserne modificate più o meno profondamente le condizioni anche di estese regioni, è cosa di facile dimostrazione, per quanto tali mutamenti non siano sovente apprezzabili non soltanto nella vita di un uomo, ma anche in quella di intere generazioni. Ora di questi mutamenti: climaterici, orografici, idrografici, ecc. e delle modificazioni biologiche che li accompagnarono, la Geologia ritrae sicure testimonianze dallo studio dei materiali costituenti la crosta terrestre, materiali che si riferiscono in parte unicamente al mondo minerale, ma che per altra parte sono pure di origine organica, come gli avanzi di varia specie degli animali e dei vegetali, che formano i fossili. Da queste osservazioni essa viene alla logica conclusione che la Terra nell'andare del tempo ha subìto tutta una lunga serie di trasformazioni (di cui lo stato attuale non rappresenta che una piccola fase transitoria), ciascuna delle quali ha lasciato tracce, le quali permettono di ricostituire più o meno esattamente la storia del passato.

Tra le constatazioni della Geologia una della massima importanza si è che dei fenomeni naturali solo possono aver cambiato la misura e l'intensità, ma non l'indole e le conseguenze della loro azione e che è quindi sufficiente lo studio e l'esatta interpretazione dei fenomeni attuali per renderci conto di tutte le modificazioni del passato, anche le più grandiose.

---

(1) Da γῆ = *Terra* e λόγος = *discorso.*

Dato l'oggetto delle sue ricerche, la Geologia non è evidentemente una scienza che possa in modo assoluto bastare a sè stessa; essa ne' suoi studi ha invece bisogno dell'aiuto continuo delle altre scienze, di cui anzi si può dire che non è se non una vasta sintesi. Così concorrono ad aiutarla, e ad integrarla, la Geometria, l'Astronomia, la Geodesia, la Chimica, la Fisica, la Mineralogia, la Zoologia, la Botanica, ecc.; in tali condizioni si capisce come la Geologia debba essere una scienza relativamente giovane e che essa presenti ancora molte lacune. Basta pensare, infatti, che parecchie delle discipline, quali la Chimica, la Mineralogia, ecc., di cui essa ha sommo bisogno, non hanno, se non da tempo pure relativamente breve, preso stabile posto fra le scienze esatte.

Cenno storico della Geologia. — Per quanto, come fu ora detto, la Geologia sia da poco entrata, come vera scienza, nel campo delle manifestazioni dell'attività umana, tuttavia è innegabile che in ogni tempo vi furono studiosi dei fenomeni naturali, fenomeni che non potevano mancare di colpire l'immaginazione degli uomini, anche primitivi.

Già i nostri più remoti antenati facevano, senza saperlo, della Geologia allorquando sceglievano certi materiali, a preferenza di altri, nella fabbricazione delle loro armi di pietra e delle altre suppellettili necessarie alla vita, oppure quando si scavavano ricoveri in certe rocce piuttosto che in altre, oppure quando ricercavano grotte e caverne per la loro dimora. Geologia l'uomo continuò a fare quando intraprese l'estrazione di certi metalli, che, come il rame, il ferro, ecc., sostituirono con l'andar del tempo l'uso della pietra.

Vere nozioni di Geologia, forzatamente erronee, imperfette e sovente ingigantite dalla fantasia dei popoli primitivi, colpiti e terrorizzati dai fenomeni naturali, noi ritroviamo nei documenti e nelle più antiche tradizioni degli Ebrei, degli Egizi e, più vicino a noi, dei Greci, dei Romani e degli Arabi. Così è del racconto biblico del Diluvio, che certamente si riferisce ad un fenomeno grandioso a cui dovette esser soggetta almeno una estesa regione della Terra, fenomeno che è ricordato dalle iscrizioni a caratteri cuneiformi di Ninive e che vien menzionato pure presso gli scrittori greci; questi anzi ammettevano che il cataclisma si fosse rinnovato a più riprese e Plutarco assegna a queste riprese un periodo di tempo oscillante fra 120 e 360 mila anni.

L'impressione profonda esercitata da fenomeni locali, particolari alla regione in cui vivevano, non poteva che influire sulla spiegazione data dagli antichi per i mutamenti terrestri; ed è per questo che, in presenza dei notevoli e benefici alluvionamenti del Nilo, Talete, Xenofane, e con loro la scuola detta dei Nettunisti, vennero ad attribuire all'acqua la massima importanza. Lo spettacolo delle eruzioni vulcaniche dell'Italia meridionale e dell'arcipelago greco doveva evidentemente agire invece in senso opposto; vediamo così appunto sorgere la scuola dei Plutonisti con Zenone, Empedocle ed Eraclito, per i quali le forze interne devono aver parte preponderante nelle vicende della Terra. Ed è un fatto notevole che, per le stesse influenze locali, questa distinzione fra Nettunisti e Plutonisti si mantenne quasi fino ai giorni nostri.

Aristotile, che ad ogni ramo dello scibile rivolse, si può dire, l'attività meravigliosa del suo ingegno, cercò fin da' suoi tempi di spiegare le modificazioni della Terra ricorrendo all'azione dell'acqua ed ai movimenti del suolo; tuttavia le sue idee erronee sull'interpretazione dei fossili ebbero purtroppo una nefasta influenza sopra tutti gli Scolastici, per i quali, seguendo ed esagerando l'idea del maestro, i fossili non furono mai altro che scherzi della natura, dovuti alla influenza degli astri, o prodotti da una speciale forza germinativa della Terra. Questo predominio delle idee aristoteliche si estese a tutto il Medio Evo e quindi gli studi geologici per parecchi secoli progredirono ben poco, quantunque non

si possa tacere di PLATONE, laddove parla dell'*Atlantide*, continente scomparso, posto al di là delle Colonne d'Ercole, nè di PITAGORA e della sua scuola che, oltre al dare una spiegazione esatta dell'origine dei fossili, indicandoli come avanzi di organismi vissuti in altri tempi, ritenevano le modificazioni della Terra dovute all'azione erosiva e sedimentatrice delle acque ed a quella del vulcanismo e dei terremoti. Neppure va dimenticato l'arabo AVICENNA che in un suo libro, ove parla della formazione dei minerali, espone idee precise circa l'origine delle valli e delle montagne.

Nel secolo XVI un vero precursore della Geologia abbiamo in LEONARDO DA VINCI, il quale, oltre al dare la spiegazione esatta di molti fenomeni naturali, riconobbe la vera origine dei fossili, indicando come si incontrino nella loro attuale posizione in seguito a sollevamenti del terreno. Contemporaneamente BERNARD PALISSY giungeva in Francia alle stesse conclusioni, mentre AGRICOLA in Germania esponeva interessanti idee sulla formazione dei filoni metalliferi e la loro relazione con i fenomeni eruttivi.

Nel secolo XVII vanno ricordati COLONNA e ALDOVRANDI, che raccolsero ed illustrarono molti fossili, ma specialmente il danese STENONE, chiamato in Italia dal Duca di Toscana. STENONE non fu soltanto medico valente, ma diede un notevole contributo agli studi mineralogici e geologici, facendo nell'Appennino importanti osservazioni sopra i fossili ed i terreni sedimentari, giungendo alla conclusione che le pendenze degli strati non corrispondono alla loro posizione primitiva, stata conturbata dall'azione del fuoco sotterraneo.

DESCARTES e LEIBNITZ, pure in quel secolo, espongono la loro teoria, secondo la quale la Terra deve considerarsi come un astro spento, dotato ancora di un fuoco centrale, spiegando le accidentalità della superficie con fenomeni avvenuti durante il raffreddamento.

A Roma poi il gesuita KIRCHER non solo fece interessanti collezioni di fossili, ma lasciò inoltre numerosi e buoni scritti sul calore terrestre e sulla origine e la distribuzione delle montagne.

Con il secolo XVIII aumenta il numero degli studiosi dei fenomeni naturali e per numero e valentìa emergono gli italiani, fra cui ZANNICHELLI, VALLISNIERI, BECCARI ed i parroci SPADA e LAZZARO MORO, che validamente concorsero alla conoscenza dei fossili ed alla classificazione dei terreni. Intanto con il tedesco WERNER e l'inglese HUTTON ripigliavano vita le scuole dei *Nettunisti* e dei *Plutonisti*, e le discussioni tra Werneristi ed Huttonisti si facevano vivissime, trascendendo qualche volta dal campo sereno della scienza.

WERNER, nato e vissuto in Sassonia, fu il fondatore della celebre Scuola delle Miniere di Freiberg, ove per lunghi anni impartì l'insegnamento; a lui ed ai suoi discepoli si devono ricerche minute e precise sugli abbondanti giacimenti metalliferi della regione e le osservazioni di WERNER, sia nel campo mineralogico che geologico, neppur oggi hanno perduto ogni loro valore. Si può dire che egli fu il fondatore della attuale nomenclatura geologica e litologica, poichè per il primo precisò nettamente il significato di molti termini adoperati dai suoi predecessori con qualche arbitrio e, non di rado, con significato affatto contraddittorio.

WERNER ed i suoi discepoli esagerarono però l'importanza da attribuirsi all'azione dell'acqua, tanto che ritenevano i fenomeni eruttivi come fatti del tutto secondari e dovuti all'incendiarsi spontaneo di depositi di combustibili. Ancora una volta le speciali condizioni dell'ambiente avevano influito esageratamente sulle idee degli osservatori!

Per la stessa impressione locale, HUTTON, che viveva in Scozia, ove abbondano le formazioni di origine eruttiva, pur riconoscendo l'esistenza di depositi sedimentari, esagerò l'azione dei fenomeni vulcanici nelle vicende della Terra, onde, dubitando persino dell'origine per deposito acqueo dei giacimenti di salgemma, ammise per l'acqua un semplice potere solvente, mentre la consolidazione dei terreni doveva esser tutta dovuta al calore centrale; queste idee di HUTTON ebbero grande favore in Inghilterra.

Intanto l'aprirsi di nuove vie di comunicazione ed il migliorarsi delle antiche portarono i Naturalisti ad allargare il campo delle loro osservazioni con viaggi anche in regioni lontane, il che non tardò ad esercitare una profonda influenza sulle idee troppo unilaterali dei Werneristi e degli Huttonisti.

Il finire del secolo XVIII e la prima metà del XIX segnano quindi una nuova êra per la Geologia con Laplace, Dolomieu, De Saussure e W. Smith, il quale per il primo tentò la compilazione d'una carta geologica dell'Inghilterra, mentre a Londra si fondava, nel 1807, la prima società geologica.

Appartengono a questo periodo molti Geologi e Paleontologi italiani, fra cui il Brocchi, con la sua indimenticabile opera sulla *Conchiologia fossile;* ad esso seguirono fino ai giorni nostri nomi illustri, come quelli di Borson, Sismonda, Gastaldi, Michelotti, Bellardi, ecc., in Piemonte; Stoppani, Curioni, Corsaglia in Lombardia; Catullo ed Omboni nel Veneto; Pareto in Liguria; Pilla e Meneghini in Toscana; Ponzi a Roma; Guiscardi a Napoli; i fratelli Gemmellaro e Seguenza in Sicilia.

In Francia Cuvier, Brongniart, Lamarck, poscia St-Claire-Deville, Élie de Beaumont e Dufrénoy fanno fare grandi passi alla vera interpretazione dei fossili ed alla conoscenza dei fenomeni naturali; De Beaumont e Dufrénoy intraprendono anzi la pubblicazione della carta geologica francese.

In quell'epoca Leopoldo Von Buch e Alessandro Humboldt, con i loro viaggi in latitudini le più diverse, smorzano nel contatto con la natura il loro preconcetto wernerista e portano un valido contributo alla Geologia. Carlo Lyell poi, con la sua magistrale opera *Principii di Geologia*, dà un colpo decisivo alle scuole dei Nettunisti e dei Plutonisti, affermando vittoriosamente il principio dell'*Attualismo*. In esso si ammette che le forze agenti per il passato furono identiche alle attuali, solo che ebbero intensità e durata tali da essere bastevoli a spiegare tutti i rivolgimenti della Terra. Questa teoria era diretta specialmente contro il *Cataclismo* di Élie de Beaumont e di Cuvier, che non ritenevano queste forze sufficienti e ricercavano l'origine delle mutazioni terrestri in grandiosi cataclismi succedutisi nei tempi geologici.

Voler menzionare i molti eminenti Geologi del tempo presente sarebbe cosa troppo lunga; ci basti dire che è una nobile gara, nella quale l'Italia non occupa certamente l'ultimo posto, tra le nazioni civili per far progredire e spingere la Geologia alla sua mèta ultima, cioè alla esatta e completa conoscenza della Terra!

Divisione della Geologia. — Il campo di studio della Geologia si può dividere nelle seguenti parti:

1° Geomorfologia (o *Geografia fisica* o *Fisiografia terrestre*), che si occupa delle condizioni attuali della Terra e studia l'atmosfera, i continenti, il mare, la distribuzione alla superficie terrestre degli organismi, ecc.

2° Dinamica terrestre (o *Geodinamica*) che studia gli agenti naturali tendenti a modificare le condizioni della Terra.

A seconda che tali agenti si esplicano alla superficie terrestre oppure hanno la loro sede nell'interno, questa parte della Geologia si divide in *Dinamica esterna* o *Esodinamica* e *Dinamica interna* o *Endodinamica*.

3° Geognosia, che ricerca le modificazioni subìte dalla Terra nel passato, sia in rapporto alla Morfologia che ai caratteri di indole climaterica, litologica e biologica. Si suddivide in:

Litologia e *Petrografia*, studio delle rocce.

Paleontologia, studio degli organismi animali (*Paleozoologia*) e vegetali (*Paleofitologia*), che si sono succeduti alla superficie terrestre, accompagnandone e caratterizzandone le mutazioni.

Tettonica (compresa la *Stratigrafia*) che si occupa della disposizione delle rocce nella crosta terrestre e delle modificazioni che hanno subìto nella loro posizione primitiva.

Geologia storica e cronologica, che tende ad ordinare le formazioni della crosta terrestre a partire dalle più antiche fino alle più recenti, indicandone la cronologia, evidentemente soltanto relativa.

Applicazioni della Geologia. — La Geologia è ben lungi dall'essere, come ancora da qualcuno si ritiene, una scienza puramente teorica, poichè invece si possono trarre da essa utili e molteplici applicazioni in rapporto, si può dire, con ogni manifestazione dell'attività umana.

Così l'intelligenza delle forme geografiche attuali della Terra, forme che sono la conseguenza diretta di una evoluzione intimamente collegata alla geodinamica, può solo aversi dalla Geologia, che a buon diritto è ora diventata la base razionale della Geografia fisica.

La ricerca dei minerali metalliferi, del carbone, del petrolio e di altri simili utili prodotti naturali, non può essere scompagnata dalla conoscenza di certe nozioni direttrici sul modo di formazione, la posizione e l'età di tali prodotti; ora queste nozioni sono del dominio, si può dire, esclusivo della Geologia.

Stretto rapporto ha pure con l'Agricoltura; infatti, la Geologia determina la natura e l'origine dei terreni, indicando quali sono specialmente coltivabili; per gli sterili suggerisce le correzioni necessarie, come pure le modificazioni di coltura, ecc. Un vero ramo di scienza si è quindi ora stabilito con la *Geo-agronomia* o *Geologia agraria*.

Massima importanza ha la conoscenza della circolazione acquea, superficiale ed interna, come anche quella della natura del terreno, nella ricerca delle acque potabili, foratura di pozzi, apertura di trincee, fondazione di edifizi, stabilimento di strade, ecc.; nella regolarizzazione del corso dei fiumi e torrenti, nella difesa delle coste; nella costruzione delle dighe, ecc.

Nel traforo di gallerie ferroviarie od in altri simili lavori sotterranei la Geologia diventa indispensabile con l'indicare la natura delle rocce da attraversare, la circolazione idrica, la conducibilità termica delle rocce, le condizioni di temperatura nell'interno del suolo, ecc.

Molti altri consimili esempi di applicazioni pratiche della Geologia si potrebbero qui ancora citare, ma basti, per brevità, ricordare l'importanza della Litologia nello studio dei materiali che servono all'uomo per le costruzioni, le ornamentazioni e le pavimentazioni. Infatti questo ramo della Geologia non solo studia la composizione delle rocce, ma ne determina ancora il grado di coesione, di durezza, di lavorabilità, di resistenza meccanica, di durevolezza sotto l'azione dei fattori meteorici, ecc.

Possiamo affermare, come conclusione, che se molte intraprese non poterono esser condotte a termine, o diedero cattivi risultati, oppure richiesero sforzi e spese molto maggiori di quanto si poteva prevedere, il fatto dipese sovente dal non essersi tenuto conto dei dati e degli ammaestramenti che avrebbe potuto agevolmente fornire la Geologia.

PARTE PRIMA

GEOMORFOLOGIA O GEOGRAFIA FISICA

CAPITOLO I.

Generalità sulla Terra.

La Terra nel sistema solare. — La Terra, come astro, fa parte del sistema che comprende in ordine ascendente i seguenti pianeti: *Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano* e *Nettuno*, i quali, seguendo le leggi della gravitazione universale, ruotano intorno al *Sole*, centro del sistema che da esso prende appunto il nome.

La Terra consta di una parte solida, la *litosfera*, avvolta da una massa gassosa che costituisce l'*atmosfera;* essa poi, analogamente a quanto succede per quasi tutti i pianeti, possiede un satellite, la *Luna*.

Forma della Terra. — La terra ha forma sferoidale; questo fatto già noto agli antichi, così ad Eratostene, che però la riteneva perfettamente sferica, fu poi sempre meglio definito con il perfezionarsi dei metodi e strumenti di ricerca, i quali hanno anzi portato alla conclusione, ora definitivamente ammessa, che la Terra in realtà non è una sfera, ma un elissoide di rivoluzione, o meglio un solido che non corrisponde ad alcun solido geometrico ed a cui si è dato il nome di *geoide*. È cioè una sfera schiacciata ai poli e rigonfia all'equatore, oltre ad altri rigonfiamenti in parecchi punti, come, ad esempio, in corrispondenza alle principali catene montuose.

Le prime misure della sfericità terrestre si devono ad Eratostene, 2 secoli a. C.; però già da altri era stata dedotta tale forma dal fenomeno delle eclissi. Newton fu il primo, mediante il calcolo, a determinare con molta approssimazione lo schiacciamento polare e la sua opinione fu ben presto confermata dalle misure. Tuttavia certe determinazioni, fatte nel 1680 sotto la direzione di D. Cassini, portarono a dubitare della veridicità della teoria di Newton, dando invece come probabile un rigonfiamento polare. Gli astronomi del tempo si divisero quindi in Newtoniani e Cassiniani, ma non tardarono ad esser messi d'accordo dai risultati, favorevoli a Newton, di due spedizioni mandate dall'Accademia di Francia a misurare

un arco di meridiano in latitudini rispettivamente lontane e vicine all'equatore. La prima, nel 1735, si recò nel Perù e comprendeva La Condamine, Bouguer e Godin; la seconda in Lapponia, nel 1736, con Camus, Maupertuis e Celsius.

L'ipotesi di Newton fu poi sempre meglio lumeggiata dalle nuove misure compiute fin ai giorni nostri; del resto lo schiacciamento polare non sarebbe che la conseguenza della rotazione terrestre e della plasticità dei materiali che costituiscono il nostro pianeta. Tuttavia, ammessa la fluidità primitiva del globo, lo schiacciamento polare non sarebbe spiegabile con la semplice rotazione, perchè avrebbe dovuto esser molto maggiore, riducendo la Terra alla forma di una vera schiacciata. Per quanto non ammesso da tutti gli autori, si può ritenere che il relativamente minimo schiacciamento polare sia conseguenza di un fenomeno verificatosi anche in altri pianeti, cioè dello spostamento dei poli; per cui, mentre l'asse di rotazione si manteneva lo stesso con la medesima inclinazione sul piano dell'eclittica, la massa del pianeta girava intorno al suo centro, cambiando continuamente la posizione dei poli; tale spostamento continuerebbe tuttora, ma molto più limitato.

Vedremo a suo tempo come parecchi fatti geologici vengano ad avvalorare questa opinione dello spostamento dei poli.

Dimensioni della Terra. — Seguendo i recenti calcoli di Bessel, che sembrano i più vicini al vero quantunque neppure si possano considerare come definitivi, si avrebbe come valore del raggio equatoriale 6.377.397 metri e 6.356.079 metri per quello polare, con una differenza quindi fra i due di 21.319 metri. Lo schiacciamento polare (cioè il rapporto tra la differenza dei due assi ed il grande asse) sarebbe equivalente a $^1/_{299}$; questa cifra di Bessel è alquanto diversa da quella trovata da altri autori, così $^1/_{295}$ da Clarke, $^1/_{292}$ da Faye, $^1/_{299,3}$ da Helmert.

Supposta la Terra sferica si avrebbe, secondo Clarke, un raggio terrestre di 6371 chilometri. La superficie totale della Terra è di circa 510 milioni di km^2 (509.950.714 km^2 secondo Bessel); il suo volume è di 1083 bilioni di km^3 (1.082.841.315.400 km^3 secondo Bessel), cifra che corrisponde appena a 1/322.000 del volume del Sole.

Densità della Terra. — La determinazione della densità terrestre fu fatta da parecchi autori e con metodi varii, che sempre diedero una certa corrispondenza di cifra.

Così con la *deviazione della verticale*, misurata con un pendolo o un filo a piombo in vicinanza di una grande montagna isolata, di cui sia nota la massa, Maskelyne e Hutton, negli anni 1774-1776, trovarono un valore di 4,71; nel 1855 James ottenne 5,32 e Mendenhall trovò al Giappone, nel 1880, 5,77.

Le determinazioni fatte con la deviazione della verticale sono però soggette ad errori, come anche poco sicure sono quelle basate sulle *oscillazioni del pendolo*, cioè nell'osservare il numero delle oscillazioni fatte da un pendolo a diverse altezze (lungo i fianchi di una montagna o in pozzi di miniera) in un tempo determinato.

Con questo metodo Carlini nel 1823, facendo osservazioni a Bordeaux e al Moncenisio, trovò 4,39, cifra che le correzioni di Giulio nel 1840 portarono a 4,95; Airy nel 1845 trovò a Newcastle 6,56, mentre Von Sterneck, operando in un pozzo delle miniere di Pribram, trovò a diverse altezze 6,28 e 5,01.

Con la *bilancia di torsione* si possono aver risultati con approssimazione maggiore; questo metodo, adoperato dapprima da Cavendish nel 1798, diede un valore di 5,48; in seguito Baily, nel 1843, trovò 5,66; Reich, nel 1850, 5,58; Cornu e Baille, nel 1878, 5,56; Braun, nel 1898, 5,52.

Notiamo, infine, che con un metodo basato sulla *bilancia ordinaria* Poynting trovò nel 1878 un valore di 5,49.

La concordanza di tutti questi valori ottenuti con vie diverse permette di assegnare alla densità terrestre la cifra di 5,5 (1), mentre la media densità delle rocce che costituiscono la crosta terrestre non è che di 2,5. Quindi per spiegare la forte differenza fra questi due valori bisogna ammettere che nell'interno del globo esistano materiali dotati di densità molto maggiore di quelli della parte superficiale, poichè non è sufficiente a dar ragione del fenomeno l'enorme compressione a cui sono sottoposti i materiali più profondi.

Dalla composizione di certe rocce vulcaniche, le quali, come i basalti, oltre al contenere forti proporzioni di ferro allo stato di protossido e di sesquiossido, contengono pure talora ferro nativo anche in grande quantità (così a Ovifak e Disko in Groenlandia), come anche da opportuni confronti con le *meteoriti* (2), si è attualmente concordi nell'ammettere che il ferro sia molto abbondante nell'interno della Terra e che essenzialmente ad esso si possa attribuire l'alto valore della densità terrestre. Tale copia di ferro del resto darebbe pure ragione dei fenomeni del Magnetismo terrestre (3).

Notiamo, finalmente, che ammessa, come è, la fluidità primitiva del globo, si deve ritenere naturalmente che in esso i materiali costituenti si siano disposti in ordine di densità e che quindi nell'interno vi siano sostanze minerali (fra le quali i metalli devono aver gran parte) dotate di alto peso specifico.

---

(1) È interessante ricordare qui come il valore della densità terrestre fu già intuito da Newton, il quale, infatti, nel libro III dei suoi *Philosophiae naturalis principia mathematica* lasciò scritto: « Verisimile est quod copia materiae totius in terra quasi quintuplo vel sextuplo maior sit, quam si tota aqua constaret ».

(2) Vedi Roccati, *Elementi di Mineralogia*, Torino, Unione Tip.-Editrice.

(3) Per quanto sia argomento sul quale si dovrà ritornare in seguito, notiamo fin d'ora che, in base a considerazioni litologiche e a dati forniti dalla Sismologia e dalla Vulcanologia, si può ammettere che il globo terrestre sia costituito da sfere concentriche o, meglio, elissoidi concentrici, più o meno interferenti fra di loro.

Il più centrale, con raggio medio di 5000 Km. sarebbe formato essenzialmente da una lega di ferro e nichelio (il *Nife* di Suess); al disopra starebbe una zona di oltre 1000 Km. di roccie dense, nelle quali predominano i silicati di magnesio (*Sima*) e infine vi sarebbe la crosta terrestre propriamente detta, oon roccie leggere a silicati alluminiferi (il *Sal* o *Sial*), avente spessore di circa 120-150 Km.

Movimenti della Terra. — Fra i diversi movimenti di cui è animata la Terra ricordiamo essenzialmente:

1° La *Rotazione,* che si compie con movimento uniforme da Ovest ad Est, attorno ad un asse passante per il centro, in 23 ore, 56 minuti e 4 secondi; tale periodo di tempo è detto *giorno siderale.*

I punti nei quali l'asse incontra la superficie terrestre si chiamano *poli*: *Artico,* a Nord, e *Antartico,* a Sud.

La velocità di rotazione è di 465 metri al minuto secondo per un punto situato all'equatore.

2° La *Rivoluzione,* che compie intorno al Sole, movendo da ovest ad est, in 365 giorni 6 ore 9 minuti 11 secondi, con una velocità di circa 29.700 metri al minuto secondo.

L'orbita terrestre non corrisponde ad un circolo, ma è un'elisse, a cui si dà il nome di *eclittica* e di cui il sole occupa uno dei due fuochi; tale elisse è però molto vicina ad un circolo, poichè il rapporto fra il grande ed il piccolo asse è appena di 1 a 0,9998.

La distanza della Terra dal Sole varia quindi durante l'anno con un massimo di 151.830.000 di chilometri in *afelio* (2 luglio) ed un minimo di 146.820.000 in *perielio* (3 gennaio), con una media distanza quindi di circa 149.300.000 chilometri.

L'asse terrestre non è normale al piano dell'eclittica, ma forma con esso un angolo di circa 23° 28′; ne consegue il fatto importante che le zone terrestri non sono ugualmente esposte durante l'anno alla illuminazione ed al riscaldamento solare, donde l'alternarsi delle stagioni e la diversa durata del giorno e della notte.

Infatti, al momento degli *equinozi* (21 marzo e 23 settembre) i raggi solari cadono perpendicolarmente sulla Terra e quindi si ha uguale durata per il giorno e per la notte, mentre nei *solstizi* si ha rispettivamente il massimo d'illuminazione e di riscaldamento (21 giugno) ed il minimo (21 dicembre).

3° *Precessione degli equinozi.* — L'asse terrestre non resta costantemente parallelo a sè stesso, ma nel periodo di 26 mila anni descrive attorno alla normale al piano dell'eclittica un movimento a cono, di cui l'angolo al vertice è di 23° 27′.

Ne risulta uno spostamento verso occidente di circa 50″ all'anno nella linea degli equinozi, cioè della posizione in cui il piano normale all'eclittica e passante per l'asse terrestre è diventato perpendicolare al raggio vettore, ossia alla retta che unisce il centro del Sole con il centro della Terra.

Conseguentemente ogni anno l'equinozio di primavera al 21 marzo e quello di autunno al 23 settembre sono in anticipo di una certa quantità.

Coordinate geografiche. — Le coordinate geografiche (o *geodetiche*) sono rappresentate dalla *latitudine* e dalla *longitudine;* servono e sono sufficienti, ad individuare ogni qualsiasi punto della superficie dell'elissoide terrestre.

Supposto che la Terra abbia forma di una sfera, si dice *equatore* il circolo massimo il cui piano è perpendicolare all'asse terrestre, mentre i *paralleli* sono i circoli minori, paralleli all'equatore.

Fra gli infiniti paralleli che si possono immaginare tracciati alla superficie terrestre, quattro hanno ricevuto nomi speciali, ciò perchè la loro posizione è collegata al fenomeno delle stagioni; essi sono i *tropici* (del *Cancro* nell'emisfero settentrionale, e del *Capricorno,* in quello meridionale) ed i *circoli polari,* Nord e Sud.

Meridiani poi si dicono i circoli massimi i cui piani passano per i poli e tagliano l'equatore ad angolo retto.

Ora come *latitudine* di un determinato punto si indica la sua distanza dall'equatore, misurata in gradi, minuti primi e secondi; la latitudine (geografica o geodetica) corrisponde pertanto all'arco di meridiano compreso fra l'equatore ed il punto considerato.

Essa è ancora uguale all'angolo formato dall'orizzonte del punto con la visuale al polo celeste; a determinarla approssimativamente nell'emisfero boreale basta pertanto trovare l'altezza sull'orizzonte della stella polare, poichè il polo nord celeste cade nelle vicinanze della stella più brillante dell'Orsa Minore, detta perciò « Stella polare ».

In ciascun emisfero la latitudine si conta da 0° all'equatore sino a 90° al polo e viene distinta in *boreale,* o settentrionale, ed *australe,* o meridionale.

Longitudine di un punto si dice invece la distanza (misurata nuovamente in gradi, minuti primi e secondi) del punto medesimo da un piano meridiano scelto ad arbitrio; è cioè l'arco di equatore o di parallelo compreso tra il meridiano convenuto (meridiano di Roma, di Parigi, di Greenwich, ecc.) ed il meridiano del punto considerato.

La longitudine si conta da 0° al meridiano convenuto fino a 180° verso Est o verso Ovest, distinguendosi perciò in *longitutine* (geografica o geodetica) *orientale* ed *occidentale* (1).

La *posizione geografica* di un punto qualsiasi sul globo terrestre sarà perfettamente definita dalla conoscenza delle sue coordinate geografiche e della sua *altitudine,* cioè dalla sua altezza al di sopra del livello medio del mare.

Carte geografiche. - Loro modo di costruzione. — Per lo studio della superficie terrestre sono necessarie le rappresentazioni, in piccolo, della Terra.

Ora una immagine esatta si ha nei *globi terrestri,* sopra i quali sono segnati i meridiani ed i paralleli, tagliantisi ad angolo retto, e racchiudenti zone di superficie simili a quella della Terra. Ma i globi necessari per lo studio particolare di questa dovrebbero evidentemente essere di grandi dimensioni, donde una conseguente incomodità e una non piccola spesa.

Ad ovviare a tali inconvenienti si ricorre alle immagini della Terra, o di parti di essa, disegnate sopra superficie piane; si hanno così le *carte geografiche.*

---

(1) *Azimut* geodetico di un punto M sull'orizzonte di un punto qualsiasi A della superficie terrestre è l'angolo che il piano passante per la normale alla superficie dell'elissoide terrestre nel punto A e per il punto M, fa con il piano meridiano di A.

Tali carte non possono però essere mai immagini assolutamente fedeli, per il fatto che non è possibile sviluppare nel piano una superficie sferica; le carte dànno quindi soltanto una rappresentazione approssimata e simbolica, ciò tanto più che bisogna con segni convenzionali rappresentare le accidentalità e le particolarità della superficie terrestre.

Di una carta geografica si dice *scala* il rapporto reciproco fra le distanze reali sulla Terra e quelle corrispondenti nel disegno. Le scale possono essere molteplici a seconda dell'ampiezza delle zone che si vogliono rappresentare; così di 1:1.000.000; 1:100.000; 1:50.000; 1:25.000, ecc.

La carta poi va *orientata* in modo che i punti cardinali corrispondano alla realtà; per convenzione si pone l'Est a destra di chi guarda la carta; l'Ovest a sinistra; il Nord in alto ed il Sud in basso.

Quando si voglia costruire una carta geografica occorre innanzi tutto tracciare una rete di meridiani e di paralleli della porzione di superficie terrestre che si vuole rappresentare, cercando di diminuire quanto più è possibile le inevitabili alterazioni.

I metodi diversi di tracciamento di tale rete (*rete* o *reticolato geodetico*) si chiamano delle *proiezioni geografiche*.

Si hanno proiezioni *equivalenti* od *autaliche* quando nella costruzione della carta si sono conservate le aree delle zone rappresentate in esatta proporzione con quelle reali, il che va però a scapito della forma delle linee e dei contorni.

Si dicono *isogoniche* (*autogonali* o *conformi*) quando mantengono la configurazione, tagliandosi in esse le linee con gli stessi angoli come sulla sfera, ma non essendo conservate le proporzioni delle aree. Esempio classico la *carta di Mercatore*, specialmente usata nella navigazione.

Prospettiche si dicono le proiezioni quando la rete geodetica viene direttamente proiettata sopra un piano secondo le regole della prospettiva.

Il centro di proiezione può essere situato all'infinito (*proiezione ortografica*), oppure a distanza finita: se coincide con il centro della sfera terrestre, si ha la proiezione *centigrafica*, la quale diventa proiezione *esterna*, se il punto è esterno alla sfera, e *stereografica* se il centro medesimo trovasi sul punto diametralmente opposto al punto di tangenza del piano cui si proietta.

In generale si usa la proiezione stereografica, la quale dà paralleli e meridiani curvi, modificandoli però secondo determinate convenzioni quando si abbiano da rappresentare grandi estensioni; così, ad esempio, per i mappamondi.

Si hanno ancora le *proiezioni di sviluppo*, in cui si immagina la rete geodetica proiettata sopra una superficie curva, la quale si può poi sviluppare come superficie conica o cilindrica.

Le proiezioni *coniche* si ottengono considerando un cono tangente alla sfera con il vertice sul prolungamento dell'asse terrestre; sullo sviluppo i meridiani dànno archi di circolo concentrici, mentre i parelleli dànno rette convergenti.

Il parallelo secondo il quale si aveva la tangenza, conserverà la sua lunghezza, mentre invece gli altri saranno modificati; considerando però zone non troppo estese attorno al primo parallelo si hanno differenze accettabili per la zona sferica e la conica, per cui sulle carte geografiche la proiezione conica viene comunemente adoperata.

Per attenuare gli errori si sono ideati accorgimenti molteplici, fra gli altri quello di modificare convenientemente la curvatura dei meridiani.

Nelle proiezioni *cilindriche* si immagina un cilindro tangente alla sfera all'equatore. I meridiani si proiettano allora secondo linee equidistanti ed i paralleli secondo circoli uguali, posti a sempre maggior distanza a misura che ci si allontana dall'equatore. Nello sviluppo si hanno perciò rette perpendicolari fra di loro; si ha però massima deformazione, specialmente verso le regioni polari.

La proiezione cilindrica si adopera più particolarmente per le carte fisiche ed antropogeografiche, sulle quali interessa la rappresentazione della Terra in un planisfero ove meglio risalti la posizione reciproca dei fenomeni considerati, importando relativamente meno la reale estensione delle aeree.

Ricordiamo ancora che i *simboli* per le carte geografiche sono i segni convenzionali, le diverse scritture e le diverse tinteggiature.

Le forme del terreno infine sono riprodotte con le cosidette linee *isoipse* o *di livello*, le quali uniscono i punti di eguale quota, supposte proiettate sopra un piano orizzontale.

Nelle carte queste linee sono tracciate per costanti differenze di altezza: 50, 25, 10 m. ecc.; questa differenza costante è detta *equidistanza* e le linee sono in tale senso equidistanti.

In ogni stato moderno vi sono istituti governativi, ai quali è più particolarmente devoluta la costruzione delle carte; tali sono, in Italia, l'Istituto Geografico Militare, con sede a Firenze, e l'Istituto Idrografico della R. Marina, a Genova.

Cenno sul sistema solare.

Sole. — Il Sole, centro del sistema planetario a cui dà il nome, è la causa prima della luce e del calore e per conseguenza della vita alla superficie terrestre. Esso ha un volume di 138 trilioni di chilometri cubi, uguale cioè a 1.300.000 volte quello della Terra, e una superficie di 6 bilioni di chilometri quadrati; la sua densità è = 1,4, ossia 0,253 relativamente a quella della Terra.

Presenta un movimento di rotazione, che compie nel senso degli altri pianeti in 25 giorni e 5 ore; esso ha poi un movimento di traslazione, nel quale trascina con sè tutto il sistema verso un punto posto nella costellazione di Ercole.

Nel Sole si possono essenzialmente distinguere due parti: la *fotosfera*, più luminosa, formata da materie gassose ad altissima temperatura, e la *cromosfera*, specie di atmosfera (seppure si può usare questo nome, essendo la fotosfera anch'essa gassosa), che costituisce uno strato rossastro, pure incandescente ma meno luminoso, formato principalmente da idrogeno ed elio e in minor quantità da sodio, magnesio, calcio e ferro; questo strato avvolge la fotosfera con uno spessore di circa 7000 chilometri.

La fotosfera ha tale temperatura da non permettere le combinazioni chimiche ed in essa, mediante lo spettroscopio, già furono determinati oltre 40 dei corpi

semplici esistenti sulla Terra; non furono ancora riscontrati i metalli pesanti (platino, iridio, oro, ecc.); questo probabilmente non per la loro assenza, ma perchè devono, se esistenti, trovarsi a profondità, mentre negli strati superficiali abbondano gas più leggeri, come quelli del sodio, del calcio, ecc.

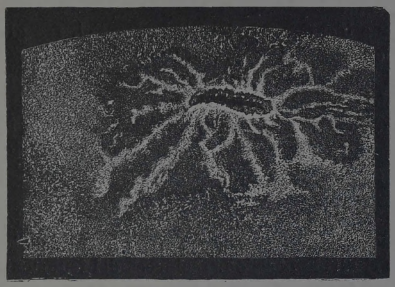

Fig. 1. — Una macchia solare circondata da facule (secondo SECCHI).

Accidentalità solari sono le *facule,* le *macchie* (fig. 1), le *protuberanze* (fig. 2) e la cosidetta *corona* o *leucosfera.*

Osservando la superficie solare, questa non si presenta a livello omogeneo, ma come ricoperta da granulazioni luminose in forma di globuli allungati, in continuo movimento, per cui si potè paragonare la superficie ad un mare gigantesco agitato da altissime onde; in realtà le dimensioni dei globuli raggiungono talvolta quelle di un continente terrestre.

In mezzo alle granulazioni si scorgono spazi luminosissimi, di forma e grandezza molto variabili, che sono le *facule;* esse per lo più rappresentano getti luminosi allungati e si vedono specialmente bene presso il lembo del Sole o nelle vicinanze delle macchie, che sembrano circondare. La loro luce è ordinariamente bianca vivissima, ma vi sono pure facule colorate in giallo, rosso, ecc.; in molte di esse abbonda il calcio.

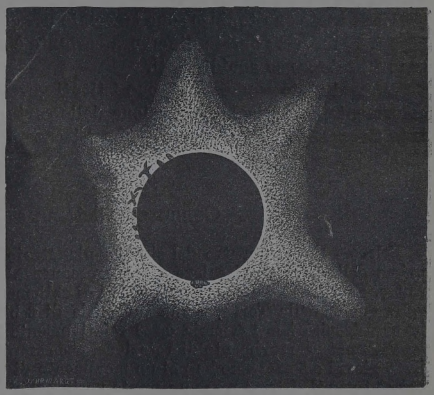

Fig. 2. — Il Sole durante un'eclisse totale con protuberanze (secondo SECCHI).

Le *macchie solari* sono punti oscuri che si presentano alla superficie della fotosfera con dimensioni e forme variabilissime, talora gigantesche, tanto da raggiungere un diametro di 4-5 volte quello della Terra. La loro origine e natura sono ancora incerte, ma sembrano dovute a cavità temporanee che si aprono nella fotosfera e che il FAYE ritenne come vortici, quantunque però quest'opinione non sia accettata da tutti gli astronomi. La durata delle macchie va da poche ore o pochi giorni fino a due mesi, eccezionalmente una rimase visibile per ben 18 mesi. Fra i massimi ed i minimi di attività nelle macchie solari sembra esservi una certa ricorrenza di 11 anni, ma ad ogni modo vi sarebbero frequenti eccezioni a questa legge. Pare infine dimostrata una certa relazione tra il fenomeno delle macchie e le perturbazioni magnetiche alla superficie terrestre.

Le *protuberanze* sono paragonabili a vere eruzioni di sostanze gassose, che si alzano dal lembo del disco solare, raggiungendo persino l'altezza di 130 mila chilometri sopra il livello ordinario della fotosfera. In esse si può determinare, oltre all'idrogeno ed all'elio, presenza di sodio, calcio, magnesio, ferro, alluminio, nichelio, ecc.

Nelle eclissi totali del Sole si osserva intorno all'astro una speciale raggiera, che fu detta *corona solare* o *leucosfera;* ha forma e grandezza molto variabili e, fino all'altezza di circa 125 mila chilometri, sembra avere l'apparenza di una sfera continua, al disopra della quale si innalzano qua e là fasci di luce, che possono raggiungere 7 milioni di chilometri.

Nella corona lo spettroscopio rivela presenza di idrogeno e di un corpo, il *coronio*, che soltanto in questi ultimi anni fu scoperto alla superficie terrestre, primieramente dal Nasini nei gas delle solfatare di Pozzuoli.

Gli altri pianeti del sistema solare. — A completare i cenni sul sistema solare aggiungeremo alcuni dati sui diversi pianeti:

Mercurio ha un diametro di 4648 chilometri, una superficie di 68 milioni di chilometri quadrati ed un volume uguale a 0,05 quello della Terra; la sua densità è di 3,80 (0,69 rispetto alla Terra); compie la sua rivoluzione in 88 giorni, mentre la rotazione ha una durata controversa, che secondo alcuni autori sarebbe di 25 giorni. La distanza media dal Sole è di 57 milioni di chilometri.

Poco si sa delle sue condizioni climateriche, soltanto è provata l'esistenza di una potente atmosfera.

Venere ha un diametro di 12.106 chilometri, una superficie di 459 milioni di chilometri quadrati, ed un volume uguale a 0,86 di quello della Terra; la densità è di 5,12 (0,928 rispetto alla Terra). Compie la sua rivoluzione in circa 225 giorni, mentre come per Mercurio la durata della rotazione è controversa; secondo Schiaparelli sarebbe uguale alla rivoluzione. La distanza media dal Sole è di 110 milioni di chilometri.

Venere è completamente allo stato solido, con una densa atmosfera ricca di vapor d'acqua.

Marte ha un diametro di 6742 chilometri, una superficie di 142 milioni di chilometri quadrati ed un volume uguale a 0,15 di quello della Terra; la densità è di 3,89 (0,70 rispetto alla Terra). Compie la sua rivoluzione in 687 giorni, mentre la rotazione poco differisce da quella della Terra (24 ore 37 minuti 23 secondi). La distanza media dal Sole è 230 milioni di chilometri; possiede due satelliti.

Presenta grande rassomiglianza fisica con la Terra, donde l'opinione, da nulla però giustificata, che possa esser abitato.

Giove ha un diametro di 140.630 chilometri; una superficie di 59.332 milioni di chilometri quadrati ed un volume 1255 volte quello della Terra; la densità è di 1,4 (0,25 rispetto alla Terra). Compie la sua rivoluzione in circa 12 anni e la rotazione in 9 ore, 55 minuti, 36 secondi; la distanza media dal Sole è di 840 milioni di chilometri. Possiede sette satelliti.

È il maggiore fra tutti pianeti del sistema sclare e da certi indizi si può ritenere che la sua solidificazione non sia ancora completa.

Saturno ha un diametro di 122.150 chilometri, una superficie di 44,224 milioni di chilometri quadrati ed un volume 8647 volte quello della Terra; la densità è 0,63 (0,12 rispetto alla Terra); compie la sua rivoluzione in circa anni 29 $^1/_2$ e la rotazione in 10 ore 14 minuti 24 secondi. Dista dal Sole 1456 milioni di chilometri; ha dieci satelliti ed è caratterizzato dal triplice anello che lo circonda all'equatore, senza toccarlo. In quanto allo stato fisico, sembra che la sua corteccia solida esterna sia ancora in via di formazione.

Urano ha un diametro di 52.810 chilometri, una superficie di 8471 milioni di chilometri quadrati ed un volume 71 volte quello della Terra; la sua densità è di 1,10 (0,20 rispetto alla Terra). La distanza media dal Sole è di 2932 milioni

di chilometri; compie la sua rivoluzione in circa 84 anni $^1/_2$ e la rotazione in 10 ore 6 minuti 40 secondi. Ha quattro satelliti, per i quali è notevole il fatto che girano in senso inverso a quello degli altri pianeti; è poi fornito di una considerevole atmosfera.

Nettuno ha un diametro di 48.500 chilometri, una superficie di 7389 milioni di chilometri quadrati ed un volume 55 volte quello della Terra; la sua densità è 1,7 (0,31 rispetto alla Terra). Compie la sua rivoluzione in 164 anni, la sua rotazione non è ben accertata, ma sembra di circa 13 ore. Dista in media dal Sole 4588 milioni di chilometri ed ha un satellite.

Nettuno, almeno per ora, segna il limite esteriore del sistema solare.

Asteroidi. — Tra Marte e Giove stanno compresi circa 600 piccoli pianeti (il cui numero è certamente suscettibile, con il seguirsi e il perfezionarsi delle osservazioni, di aumentare ancora) di piccolissime dimensioni e che si vollero ritenere come i frantumi d'un pianeta maggiore preesistente e spezzatosi; tale idea però non sembra accettabile.

La massa complessiva degli Asteroidi noti non raggiunge la quarta parte della massa terrestre e neppure è possibile che ulteriori scoperte la possano fare aumentare di molto.

Luna. — Le costanti principali della Luna sono le seguenti:

Diametro 3481 chilometri.

Superficie 37.222.680 chilometri quadrati, di cui 0,59 visibili dalla Terra, 0,41 invisibili.

Volume 22.106 milioni di chilometri cubi, cioè rispetto alla Terra 0,02033.

Densità 3,44, rispetto alla Terra 0,604.

Distanza media dalla Terra 384.372 chilometri.

Compie la sua rivoluzione intorno alla Terra in 27 giorni, 7 ore, 43 minuti, 11,5 secondi.

La Luna si può ritenere ora completamente solidificata, priva di acqua e di atmosfera; questa però più che del tutto scomparsa, potrebbe esser ridotta ad un sommo grado di rarefazione e qualche fenomeno osservato alla superficie lunare lascierebbe anche supporre la sua attuale permanenza in qualche depressione.

La superficie lunare non avendo risentito le molteplici azioni di erosione, di sedimentazione, ecc., che hanno invece nei tempi geologici mascherata la fisionomia originaria della Terra, si presenta ancora con il suo aspetto primitivo corrispondente alla fase plutonica, oltre alla quale non si è spinta, e il suo studio sembra quindi poter esser di grande utilità per l'interpretazione degli antichi fenomeni geologici della Terra.

Accidentalità principali della superficie lunare sono le *Terre*, le *Montagne*, i *Mari*, i *Circhi* ed i *Crateri* (fig. 3).

Le *Terre* sono grandi distese della superficie che sulla Luna appariscono come zone chiare e di color biancastro; devono corrispondere a regioni scabrose, corrose, irregolari, in cui si aprono innumerevoli circhi e crateri e che il professor Sacco ritiene come le prime formazioni della solidificazione lunare.

Le *Montagne* sono rilievi che toccano l'altezza fin di 6000 a 8000 metri; esse non sono paragonabili alle catene montuose della Terra, sono piuttosto residui della crosta primitiva rimasti nel mezzo di zone che si sono sprofondate, oppure accumuli di sostanze magmiche, eruttate dai primitivi crateri lunari.

I *Mari* sono ampie regioni oscure in forma di pianure poco accidentate su cui sorgono rari circhi e crateri; esse devono esser state le ultime a consolidarsi, conservando sin da principio press'a poco l'aspetto attuale.

I *Circhi* rappresentano o antichi enormi crateri, oppure immense bolle del magma fluido primitivo scoppiate quando già era iniziata la solidificazione; le dimensioni dei circhi vanno da 20 ad oltre 200 chilometri di diametro con forma

generalmente circolare, di rado ovoidale od elissoidale. La loro parte interna è piatta, oppure presenta circhi minori o rilievi irregolari.

I *Crateri* non differiscono essenzialmente dai circhi che per le dimensioni minori (da 1 a 20 chilometri) e per l'aspetto regolare, meglio conservato.

Da ricordare sono ancora le numerose, grandiose *fratture*, paragonabili ad alcune delle accidentalità del rilievo terrestre, e le *zone luminose*, che irradiano da alcuni punti speciali della Luna, specialmente dai crateri, e probabilmente dovute a depositi di polveri od altri materiali di origine vulcanica.

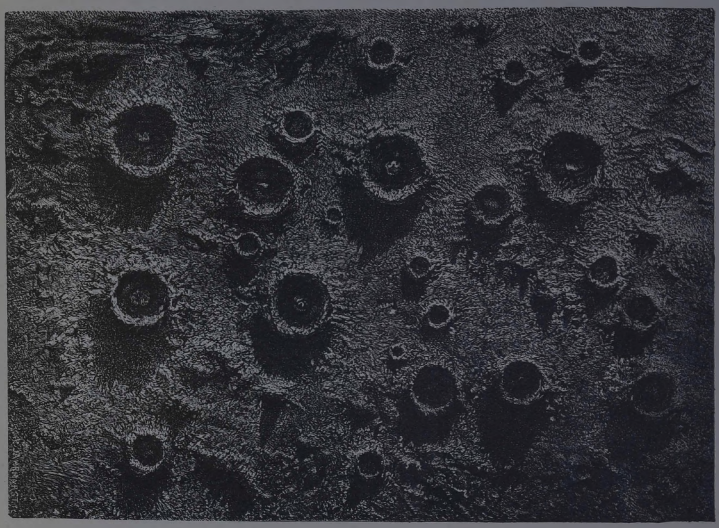

Fig. 3. — Paesaggio lunare con numerosi monti circolari mediocri e piccoli (secondo Rasmyth e Carpenter).

Ipotesi di Laplace. — A completare l'argomento del sistema solare daremo un cenno sommario dell'ipotesi di Laplace circa l'origine del sistema stesso, ipotesi che si può ancora ritenere accettabile, almeno nelle sue linee generali informative.

Laplace nella sua *Exposition du Système du Monde* (1796) ammette che tutta la materia che costituisce il sistema solare fosse inizialmente riunita in una nebulosa di forma lenticolare, costituita da gas rarefatti e ruotante intorno ad un asse normale alle attuali orbite dei pianeti; questa nebulosa doveva estendersi quindi fin oltre l'orbita di Nettuno, cioè ad oltre 4500 milioni di chilometri dal Sole attuale.

Per la continua irradiazione di calore nello spazio, si doveva manifestare nella nebulosa un raffreddamento superficiale e conseguentemente una concentrazione nella sua massa, con relativo aumento nella velocità di rotazione.

Quando la nebulosa ebbe raggiunto un certo grado di velocità, la zona più esterna di essa potè staccarsi dal rimanente della massa e si sarebbe formato così un anello libero; continuando i fenomeni di raffreddamento, di contrazione

e d'aumento di velocità, successivamente ed in modo analogo al primo, si sarebbe staccato un secondo anello, poi un terzo e così di seguito.

Sfasciandosi tali anelli e condensandosi la loro materia in una massa sferoidale, si originarono i pianeti, mentre il nucleo centrale, che comprendeva ancora circa i $^{799}/_{800}$ della massa primitiva, restava a formare il Sole.

Un fenomeno analogo a quello schematicamente ora descritto doveva pure manifestarsi nei pianeti già staccati dalla nebulosa e ancora allo stato fluido; si formarono quindi intorno ad essi nuovi anelli, che per condensazione diedero origine ai satelliti. Tale sarebbe stata l'origine della Luna.

Quindi la Terra dopo aver brillato di luce propria nello spazio in una fase stellare, che dovette però esser di relativamente breve durata, andò man mano raffreddandosi e condensandosi; dallo stato gassoso passò a quello di fusione ignea, poi di solidificazione parziale ed infine allo stato attuale.

Questa ipotesi, in realtà, già era stata enunciata da Kant fin dal 1755, ma andò sempre sotto il nome di Laplace; essa fu poi parzialmente modificata da Faye nel 1885 e più recentemente da altri scienziati, quali Arrhenius, Belot, ecc.

CAPITOLO II.

L'atmosfera.

Altezza dell'atmosfera. — Circa l'altezza dell'*atmosfera*, cioè dell'involucro gassoso che da ogni parte circonda la Terra e che è essenziale alla vita degli organismi, alla circolazione dell'acqua, alla distribuzione del calore, ecc., nulla si può dire con certezza; soltanto si può arguire che, potendo le sue molecole obbedire facilmente alla forza centrifuga, l'atmosfera deve assumere forma di uno sferoide, però molto più schiacciato di quanto sia la Terra.

Teoricamente l'atmosfera dovrebbe innalzarsi fin dove si stabilisce l'equilibrio fra la gravità e la forza centrifuga, cioè, secondo i calcoli di Laplace, a circa 42.000 chilometri; ma, in causa della diminuzione nella pressione, la rarefazione si fa sempre più grande a misura che si passa negli strati superiori, per cui, all'altezza di 32 km., secondo Glaisher, la pressione non dovrebbe più essere che $^{1}/_{30}$ di quello che è al livello del mare. Ne consegue quindi che il barometro non è sufficiente a determinare l'altezza dell'atmosfera, mentre potrebbe perfettamente servire quando la densità si mantenesse costante a tutte le altezze.

Molti autori tentarono la risoluzione del problema, ma, a seconda dei criteri presi come punto di partenza, si ebbero risultati affatto diversi, che dànno per l'altezza dell'atmosfera valori oscillanti fra 30 e 400 km. Così, per citare esempi, Liais trovò 380 km., basandosi sulla durata del crepuscolo nelle regioni tropicali; Secchi e Schiaparelli, determinando il punto ove le stelle cadenti diventano luminose nell'attraversare l'atmosfera, trovarono 80-160 km.; ecc.

Quest'incertezza però non ha importanza per la Geologia, poichè i fenomeni atmosferici a cui essa rivolge il suo studio sono essenzialmente compresi tra la superficie degli oceani e le vette più elevate delle montagne,

zona in cui si possono ritenere accumulati i $^4/_5$ dell'intera massa dell'atmosfera.

Se il barometro non è sufficiente a determinare l'altezza, esso nondimeno, con la conoscenza della pressione atmosferica, ci permette di conoscere il peso totale dell'atmosfera, la cui massa si può ritenere presso a poco $\frac{1}{1.200.000}$ della massa totale del globo.

Composizione dell'atmosfera. — L'atmosfera è costituita dall'*aria*, cioè da un miscuglio a proporzioni definite di *ossigeno* ed *azoto*, in cui si ha in volume:

$$O = {}^1/_5 \qquad N = {}^4/_5$$

mentre, nella composizione centesimale, si può ritenere:

$$O = 23,5 \qquad N = 76,5.$$

All'azoto dell'atmosfera va unita una certa quantità di *argon*, gas scoperto nel 1896 dagli inglesi Rayleigh e Ramsay, e che sarebbe nelle proporzioni di circa $^1/_2$ per cento; all'argon si devono aggiungere altri gas di recente scoperta, come il *cripton*, il *neon*, il *metargon*, l'*elio*, ecc.

Come componenti normali, ma affatto secondari, si devono pure considerare l'*anidride carbonica* (CO_2) ed il *vapor d'acqua* (H_2O), i quali variano però di quantità da luogo a luogo, a seconda dell'altitudine, del clima, delle stagioni, ecc. (1).

Oltre a questi gas, altri se ne incontrano nell'atmosfera, ma in modo affatto accidentale o in determinate regioni, come l'*ozono* (O_3), l'*anidride nitrosa* (NO_2), l'*ammoniaca* (NH_3), l'*idrogeno solforato* (H_2S), l'*anidride solforosa* (SO_2), ecc., i quali, per quanto in proporzioni minime, possono però acquistare importanza nei fenomeni geologici. Anche l'*idrogeno* (H) esiste nell'aria mescolato agli altri gas; anzi, secondo alcuni autori, questo gas formerebbe gli strati più elevati dell'atmosfera.

Dobbiamo finalmente ricordare il cosidetto *pulviscolo atmosferico*, costituito da particelle solide minutissime, quali spore, granelli di polline, germi di microrganismi, laminette di minerali, particelle di carbonio, ecc. Si capisce facilmente, data l'origine di queste particelle, quanto variabile debba essere la quantità di pulviscolo atmosferico da luogo a luogo, e come grandi differenze si abbiano, ad esempio, tra città, campagne, mari, monti, ecc.

La presenza del pulviscolo atmosferico si rende ben evidente lungo il cammino di un raggio solare; in quanto alla sua abbondanza, possiamo

---

(1) Nei primi tempi della consolidazione terrestre il vapor d'acqua e l'anidride carbonica dovettero esser contenuti nell'atmosfera in quantità molto maggiore che non attualmente. Così per l'anidride carbonica si è calcolato, dalla quantità di carbonio fissato in vario modo, come per esempio dai vegetali primitivi ora ridotti allo stato di carbon fossile ed accumulato nella crosta terrestre, che questo gas dovesse essere durante quelle epoche in quantità notevolmente superiore a quella dell'azoto.

indicare che secondo Aitken vi sarebbero due milioni di corpuscoli nell'aria di una camera abitata e nelle vie di Londra da 48 a 116.000 per ogni m^3.

Colore dell'atmosfera. — Vista in piccola massa l'aria è diafana, incolora; in grandi masse appare di color azzurro più o meno intenso.

Questa colorazione fu attribuita alla presenza dell'ozono ed a fenomeni di assorbimento dei raggi luminosi; sembra però che sia realmente dovuta ad uno speciale rifrangersi della luce solare sopra innumerevoli e minutissime particelle solide sospese nell'atmosfera.

Il colore azzurro si mantiene finchè il cielo è sereno; quando il vapor d'acqua, di cui può essere carica l'atmosfera, si condensa, allora essa diventa biancastra, opaca, e si ha la formazione di nubi, nebbie, ecc., di cui si parlerà in seguito.

Pressione atmosferica e sue variazioni. — Si sa dalla Fisica come la pressione esercitata dall'atmosfera sulla Terra si misura mediante i *barometri;* ora questa pressione, che è in media di 760 mm. nella colonna di mercurio al livello del mare, equivalente cioè ad una colonna d'acqua alta 10 m., non è che conseguenza del peso dell'aria atmosferica, uguale a circa gr. 1,3 per litro, alla temperatura di 0°.

La pressione atmosferica non è però un fattore costante, ma essa va soggetta a notevoli e molteplici variazioni da luogo a luogo ed anche in uno stesso luogo, a seconda dei momenti dell'osservazione; essa varia però specialmente con la latitudine ed in modo particolare con l'altitudine. Anzi, come si è detto sopra, se tale diminuzione fosse regolare, si avrebbe nel barometro un buonissimo mezzo per determinare l'altezza dell'atmosfera; la pressione va invece rapidamente diminuendo con l'altezza, per cui, mentre a 1000 metri basta sollevarsi di circa 11 metri per avere l'abbassamento di un millimetro nella colonna di mercurio, a 3000 metri già bisogna sollevarsi di circa 15 metri. La diminuzione nella pressione barometrica viene nondimeno usata normalmente nella misura delle altitudini, adoperando all'uopo speciali formole fornite dalla Fisica.

Congiungendo fra di loro i punti nei quali si ha uguale media mensile nella pressione barometrica, si stabiliscono le *linee isobarometriche,* o più semplicemente *isobare* (fig. 4). Esse hanno andamento sinuoso, tranne sugli Oceani, ove si dimostrano alquanto regolari; nell'Oceano Atlantico poi si incurvano tutte verso nord.

Distribuzione del calore alla superficie terrestre. — La sorgente principale del calore terrestre va ricercata nell'azione dei raggi solari.

Di questi soltanto una parte relativamente piccola viene assorbita dalla atmosfera, e, per quanto il suo potere assorbente aumenti con la presenza dell'anidride carbonica e del vapor d'acqua, si può, secondo Pouillet, ritenere tale assorbimento di circa 25%, quando i raggi cadono verticalmente. La parte rimanente viene assorbita dalla superficie e restituita all'ambiente esterno per irradiazione, con comportamento diverso però per la terra ferma ed il mare.

Le terre infatti si riscaldano rapidamente, ma per la cattiva conducibilità del suolo l'influenza dei raggi solari non si fa sentire a grande profondità, e si può dire che cessa a qualche diecina di metri; viceversa il calore accumulato viene rapidamente irradiato all'esterno. Il mare, all'incontro, riflette anzitutto una buona parte dei raggi calorifici senza assorbirli; esso però si scalda, per quanto lentamente, fino ad una profondità che può raggiungere i 200 metri, accumulando così una gran copia di calore, che, pure lentamente, viene poi irradiato. Ciò spiega appunto le condizioni miti e costanti dei climi insulari e marittimi.

Aumentando l'obliquità dei raggi, essi, in causa del loro maggior percorso attraverso all'atmosfera, cedono a questa maggior quantità di calore,

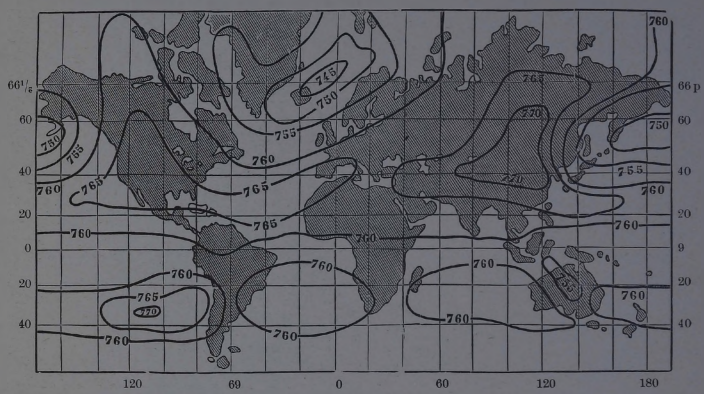

Fig. 4. — Isobare del mese di Gennaio.

e quindi minore è quella che arriva alla superficie del suolo; ciò spiega in gran parte il variare della temperatura nelle diverse stagioni. Anche lo stato di umidità dell'aria ha influenza sulla temperatura, poichè, se, come si è detto, l'assorbimento dei raggi calorifici aumenta con il crescere della quantità di vapor acqueo, la presenza però di questo nell'atmosfera ritarda l'irradiamento e il conseguente raffreddamento del suolo.

Il calore poi assorbito dall'atmosfera non è perduto per la superficie terrestre; esso infatti viene alla sua volta irradiato sui corpi che l'aria avvolge. Anzi, l'atmosfera ha una vera azione regolatrice, poichè non solo accumula del calore che poi irradia, ma, in seguito ai suoi movimenti, essa trasporta il calore accumulato in regioni ove è minore l'influenza diretta dei raggi solari.

Innalzandosi al di sopra del suolo, la temperatura diminuisce, sia, e principalmente, perchè l'aria rarefatta e relativamente secca assorbe meno calore che possa poi irradiare, sia perchè la massa del suolo, irradiante dopo il riscaldamento, diventa minore; nelle Alpi si può ritenere che l'abbassa-

mento di 1° corrisponde all'incirca a 180 metri; 200 metri formerebbero la media per la totalità del globo.

Una importante conseguenza di questo fatto si è che in ogni regione si arriva così in altezza ad un *limite inferiore delle nevi persistenti,* al di sopra del quale la precipitazione atmosferica si fa quasi costantemente sotto forma di neve; questo limite è sensibilmente al di sopra di 4000 metri nelle regioni equatoriali e si abbassa man mano fino a coincidere con il livello del mare nelle regioni polari. Nelle nostre Alpi oscilla fra 1800 e 2000 metri.

Temperature medie; loro variazioni. — Se in un determinato luogo si fanno parecchie osservazioni ad intervalli di tempo durante la giornata, si constata facilmente che la temperatura varia nei diversi momenti; da queste osservazioni si può ottenere la *media diurna,* e con calcoli analoghi si possono ottenere le *medie settimanali, mensili* ed *annue.*

Le temperature estreme del globo vanno da un massimo di + 56°, riscontrato in Africa in certe regioni del Sahara, ad un minimo di — 69°,8 a Verkhoiansk, in Siberia, che è pure la località ove si ha la maggiore differenza fra le temperature estreme, essendosi misurato — 69°8 e + 31°,5, con una differenza quindi superiore a 100°.

Linee isotermiche, o semplicemente *isoterme,* si dicono le linee che congiungono i punti della Terra aventi uguale media annua di temperatura; sono linee irregolari, su cui influiscono, tra altri fattori, la maggiore o minore estensione dei continenti, le correnti marine, i venti, ecc. Ne consegue che regioni poste alla stessa latitudine possono trovarsi sopra isoterme diverse; così l'Inghilterra (isoterma + 10°) e il Labrador (0°); la Groenlandia (— 5°) e la Norvegia (+ 5°), ecc.

Sugli oceani, essendo minime le cause di perturbazione, le isoterme tendono a disporsi sensibilmente parallele. Si dice poi *equatore termico* la isoterma a temperatura più elevata; l'equatore termico non coincide con l'equatore terrestre, essendo invece alquanto irregolare; nell'Africa continentale corrisponde alla isoterma + 30°.

Linee isochimene sono quelle che congiungono i punti di ugual media invernale, desunta da quella del mese più freddo; mentre le *linee isotere* corrispondono ai punti di ugual media estiva, desunta dal mese più caldo. Sia le isochimene che le isotere sono linee molto irregolari, specialmente sopra i continenti.

Queste linee sono importanti per la conoscenza esatta delle condizioni di temperatura di una regione, poichè, ad es., due punti della stessa isoterma possono avere i loro massimi e minimi di temperatura molto diversi.

Climi e loro divisione. — Si dice *clima* di una regione l'insieme dei fenomeni meteorologici che la caratterizzano, rendendovi più o meno agevole l'abitabilità e lo sviluppo della vita, sia animale che vegetale.

Il De Martonne divide i climi, presi in generale, nei seguenti quattro grandi gruppi:

1° *Gruppo dei climi caldi.* — In questi la media temperatura annua è

sempre superiore a 20° e la variazione annua non oltrepassa 5°; le differenze fra la temperatura diurna e quella notturna vi sono forti, ma non esiste però una stagione fredda.

In questo gruppo si possono distinguere i *climi equatoriali,* che non hanno una vera stagione asciutta, e dove, specialmente nelle isole, le precipitazioni sono quasi giornaliere; ed i *climi tropicali,* che presentano una alternanza di stagione asciutta con stagione umida.

Nelle regioni ove dominano questi climi caldi si ha un'esuberanza nella vita vegetale e animale, a detrimento, si può dire, di quella umana.

2° *Gruppo dei climi temperati*, nei quali prevale la vita umana e che sono i centri di irradiamento della civiltà.

Nei climi di questo gruppo la media temperatura annua è inferiore a 20° e per parecchi mesi dell'anno la temperatura è sotto questa cifra; vi esiste un periodo di freddo, che non oltrepassa però gli 8 mesi.

Vi è quindi una netta periodicità termica ed una distinzione di stagioni (che non esiste nei climi del primo gruppo), e che si riverbera in modo evidente sulla vita delle piante, per cui le regioni cambiano assolutamente d'aspetto secondo le stagioni.

3° *Gruppo dei climi freddi,* nei quali si ha per almeno 4 mesi una media temperatura di 5°; in questo gruppo si possono distinguere i climi che hanno una *stagione temperata* con almeno 4 mesi a temperatura sopra 10°, e quelli che non hanno una tale stagione temperata.

La vita vegetale (e si può dire anche la umana) si ritira dalle regioni a clima freddo, specialmente da quelle prive di stagione temperata, regioni che sono quasi esclusivamente situate oltre il circolo polare.

4° *Gruppo dei climi asciutti o desertici,* i quali sono essenzialmente caratterizzati dalla siccità, avendo una media precipitazione annua inferiore a 25 cm. e più di 8 mesi senza pioggie.

Le oscillazioni annue di temperatura vi sono molto pronunziate, anche nelle regioni di latitudine poco elevata; il gruppo si può dividere in *climi desertici caldi,* collegati ai climi tropicali, e *desertici freddi,* in rapporto con i climi temperati e freddi.

I climi si usano anche più semplicemente dividere in *costanti, variabili* ed *eccessivi.*

I *climi costanti* (detti anche *insulari* e *marini*) sono quelli ove la differenza fra la temperatura massima e la minima dell'anno non raggiunge 10°; queste condizioni si verificano nelle isole e presso il mare, in modo speciale nelle isole equatoriali, ove la differenza non è sovente che di 2° a 3°.

Clima costante si ha a Palermo, Nizza, ecc.

Nei *climi eccessivi* la differenza va da circa 20° fino a raggiungere e sorpassare i 50° nelle regioni polari; i climi eccessivi sono anche detti *continentali,* e ne abbiamo esempi a Berlino (differenza circa 20°), Mosca (27°), Irkutsk (38°), ecc. In Italia si possono ritenere eccessivi i climi di Milano, Torino, ecc.

Nei *climi variabili* la differenza fra massima e minima temperatura

oscilla fra quella dei climi costanti e quella degli eccessivi; in Italia sono a clima variabile Roma, Firenze, Genova, ecc.

A provocare differenze nei climi, oltre i fattori astronomici, influiscono molti fenomeni, come l'altitudine sul livello del mare, la vicinanza di masse acquee marine o lacustri, la vicinanza e la posizione di catene montuose, le correnti marine, i venti, la precipitazione atmosferica, la natura del terreno e della vegetazione, ecc.

I climi non sono fattori assoluti, ma possono essere soggetti a mutamenti anche profondi; si vedrà nella Geologia storica come grandissime siano state queste trasformazioni climateriche, per cui regioni ora coperte da ghiacci furono rivestite da vegetazione; regioni a climi tropicali diventarono a clima eccessivo, con grandi modificazioni nelle condizioni di vita.

Anche nei climi attuali si hanno delle oscillazioni, poichè si osserva come determinate regioni attraversano periodi alternati relativamente freddi o caldi, umidi o asciutti. Queste oscillazioni non sarebbero arbitrarie, ma secondo i calcoli di Brückner, basati su osservazioni di oltre un secolo, si avrebbe un ripetersi di massimi e minimi di temperatura e di umidità ad ogni periodo di 30 a 35 anni.

CAPITOLO III.

Movimenti dell'atmosfera.

Equilibrio instabile delle masse atmosferiche. — Data la grande mobilità delle molecole costituenti la massa dell'atmosfera, si capisce facilmente come non mai durevole potrà essere in essa l'equilibrio. Vi si producono cioè movimenti, sia orizzontali che verticali, di intensità e durata variabili, dovuti essenzialmente a disuguale riscaldamento nelle diverse zone, secondo la latitudine e l'altitudine, come anche movimenti potranno esser dovuti alla rotazione terrestre. Questi movimenti dell'atmosfera, come già fu detto, sono provvidenziali nell'economia del globo, funzionando essi da regolatori per la distribuzione del calore e dell'umidità, venendo quindi ad avere somma importanza nello sviluppo della vita organica ed in molti dei fenomeni di cui si occupa la Dinamica.

Venti. — I movimenti dell'atmosfera costituiscono i *venti,* che si possono definire come *masse di aria messe in movimento essenzialmente da disuguale riscaldamento;* infatti, nei punti ove maggiore è l'azione calorifica dei raggi solari, l'aria si dilata, si rarefà e tende ad innalzarsi, provocando quindi una minor pressione locale, onde, a ristabilire l'equilibrio, accorrerà l'aria dalle regioni vicine, ove la pressione è maggiore, ed accorrerà tanto più velocemente quanto più grande sarà la differenza di pressione. Un fenomeno inverso si avrà poi quando per una causa qualsiasi venga a raffreddarsi una colonna d'aria; questa allora, acquistando densità maggiore, tenderà ad abbassarsi e ad espandersi lateralmente per ristabilire l'equilibrio turbato.

La velocità del vento può servire di base ad una classificazione, ed indicheremo appunto quella suggerita da De Lapparent:

Vento	debole	con	velocità	di	0,30	a 4	metri	al secondo
»	moderato	»	»		4	a 7	»	»
»	fresco	»	»		7	a 11	»	»
»	forte	»	»		11	a 17	»	»
»	violento	»	»		17	a 28	»	»

Fig. 5. — Effetti di un tifone nell'isola di Manilla.

Dal vento violento poi si passa ai venti d'uragano, in cui si può avere, per esempio nei cicloni, una velocità fin di 45 metri al secondo.

È naturale che gli effetti meccanici saranno in diretto rapporto con la velocità del vento; polveri e sabbie potranno esser così trasportate ed accumulate, fino a giungere a fenomeni meccanici straordinari, come quello riportato dal De Lapparent, di una tavola di legno dello spessore di cm. 2, che, durante un ciclone alla Guadalupa nel 1825, proiettata dal vento contro un albero, lo passò da parte a parte come avrebbe potuto fare un proiettile. Tutti sanno del resto di alberi sradicati, case scoperchiate, ecc. dai venti d'uragano (fig. 5).

Un'altra classificazione dei venti si può fare riguardo alla loro direzione, dividendoli in *regolari* ed *irregolari* od *accidentali,* i regolari essendo poi *costanti* e *periodici,* a seconda che soffiano costantemente in una medesima direzione, oppure in direzioni alternate in determinate epoche.

Venti regolari costanti sono gli *alisei* ed i *contro-alisei;* venti periodici essenzalmente i *monsoni* e le *brezze.*

Venti alisei. — Nelle regioni equatoriali, al di sopra dell'oceano, l'aria subisce un forte riscaldamento; essa quindi si dilata e si innalza determinando un vuoto, a colmare il quale dalle regioni poste verso i tropici accorrono colonne d'aria, che tendono a ristabilire l'equilibrio e siccome la causa perturbatrice è costante, costante ne dovrà pure essere l'effetto. Questa è appunto l'origine dei *venti alisei* (fig. 6) che soffiano alla super-

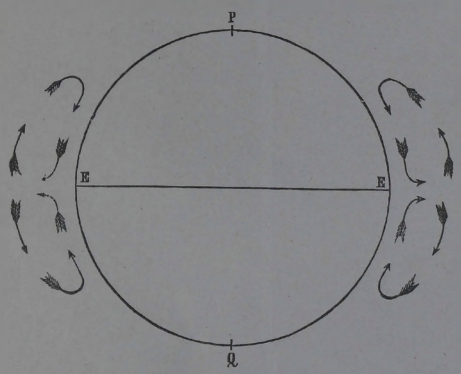

Fig. 6. — Venti alisei.

ficie del mare (con una velocità di 30-40 km. all'ora) nelle zone comprese fra l'equatore ed i tropici dell'Oceano Atlantico e del Pacifico.

Se la Terra fosse immobile, questi venti dovrebbero soffiare da N a S nell'emisfero boreale e da S a N nell'australe, ma in realtà essi sono venti che vanno da N E a S O nell'emisfero boreale e da S E a N O nell'australe, perchè spostati e deviati dalla loro direzione primitiva in causa della rotazione terrestre.

La regione dove avviene l'ascesa delle masse atmosferiche riscaldate, e la cui ampiezza varia, a seconda delle stagioni, da 150 km. a più di 1000, prende il nome di *zona delle calme equatoriali,* perchè quivi o non vi è vento o soltanto irregolare, con frequenti precipitazioni atmosferiche.

Venti contro-alisei. — Le masse d'aria che si innalzano all'equatore, ove sono continuamente rinnovate dall'accorrere degli alisei, si riversano di

qua e di là nelle regioni alte dell'atmosfera in direzione dei poli; ne nascono così i *venti contro-alisei*, necessari a ristabilire il turbato equilibrio atmosferico. Questi venti superiori soffiano quindi in direzione opposta a quella degli alisei e vanno cioè da S O a N E nell'emisfero boreale e da N O a S E nell'australe.

La loro esistenza è dimostrata, oltre che da deduzioni teoriche, anche dall'osservazione diretta che si può fare salendo su alte vette nelle regioni percorse superficialmente dagli alisei, come pure, nelle stesse regioni, dalla presenza di nuvole alte che corrono in direzione opposta a quella del vento superficiale e dalla direzione in cui vengono a cadere ceneri e sabbie vulcaniche, eruttate dai vulcani delle regioni subtropicali.

I venti contro-alisei non mantengono però costantemente il loro corso superiore; essi, carichi di vapor acqueo, a misura che si allontanano dall'equatore si raffreddano e tendono ad abbassarsi, specialmente in corrispondenza dei tropici, ove si hanno le *zone di calme tropicali*, poco estese però e variabili di estensione con le stagioni. In queste zone non si ha vento o soltanto irregolare, con forte pressione barometrica e precipitazione atmosferica.

Nell'abbassarsi si può ritenere che i contro-alisei si dividano in due correnti; l'una piegherebbe superficialmente verso l'equatore concorrendo a formare l'aliseo, l'altra darebbe i venti così detti *extra-tropicali*, che non sono però più da considerarsi come venti regolari. I venti di sirocco che soffiano nel Mediterraneo sembrano appunto potersi derivare dagli extra-tropicali dell'Atlantico.

Monsoni. — I *monsoni*, dalla parola araba *maussim* o *mussim*, che significa cambiamento e stagione, sono venti periodici, caratteristici dell'Oceano Indiano, ove, dall'aprile a ottobre, soffiano da S O a N E e in direzione contraria dall'ottobre ad aprile. Questi venti, per lo più fortissimi, si possono considerare come gli alisei dell'Oceano Indiano (e tali sarebbero i monsoni soffianti nei mesi invernali tra ottobre e aprile), i quali sarebbero spostati dalla loro direzione normale ed invertiti completamente per l'aspirazione esercitata in conseguenza dell'eccessivo riscaldamento dei deserti asiatici durante l'estate, e cioè da aprile ad ottobre. L'inversione dell'aliseo è sovente accompagnata da squilibrii atmosferici, con formazione di cicloni, noti con il nome di *tifoni*.

Da paragonare ai monsoni sono i *venti etesiani*, già conosciuti dagli antichi Greci da cui ricevettero il nome, e che soffiano sul Mediterraneo, provocati dal disuguale riscaldamento delle sabbie africane. Essi non hanno la regolarità dei monsoni e vanno da N o N E a S o S O durante l'estate ed in direzione opposta (quantunque allora meno sensibili) durante l'inverno.

Brezze. — Sono venti periodici che si alternano nel periodo di una giornata, essi pure dovuti a disuguale riscaldamento della massa atmosferica; si distinguono essenzialmente in *brezze di mare* e *brezze di terra* o *di montagna*.

Le *brezze marine* soffiano nelle prime ore del giorno da mare verso terra e alla sera da terra verso mare.

La loro origine è la seguente: durante il giorno la terra ferma si riscalda, come sappiamo, più rapidamente che non il mare; quindi sopra di essa l'aria si dilata, si innalza e determina un vuoto a colmare il quale affluisce l'aria dal mare. Durante la notte succede il fenomeno inverso, per il fatto che se il mare si è scaldato più lentamente, esso però del pari si raffredda lentamente.

Nei nostri mari le brezze sono specialmente sensibili durante l'estate e sono ben note ai pescatori, che se ne valgono per uscire a tendere le loro reti e per ritornare alla costa.

Nella montagna, specialmente nelle valli strette e limitate da alti monti, succede un fenomeno consimile, a cui sono dovute appunto le *brezze di montagna*.

Al mattino si scaldano più rapidamente le vette, prime colpite dai raggi solari; su di esse in conseguenza l'aria si dilata e si solleva, e quindi si stabilisce una corrente che va da valle a monte. Dopo il calar del sole succede il fenomeno inverso ed il vento soffia da monte a valle, perchè le vette si raffreddano più rapidamente che non la parte inferiore.

Venti irregolari. — Fra i venti irregolari sono da menzionare anzitutto i *cicloni,* animati di un doppio movimento, rotatorio cioè e di traslazione.

La rotazione del ciclone, dovuta al convergere di più correnti in un centro unico di depressione, è molto forte, potendo raggiungere una velocità persino di 300 e più chilometri all'ora; la traslazione, quantunque ancora notevole, è più lenta, non sorpassando un massimo di 60 km. all'ora e diminuendo con l'aumentare del diametro del ciclone, che può oscillare fra 200 e 2000 chilometri.

Il senso della rotazione dei cicloni è costante; nel nostro emisfero vanno da E ad O, passando per il N, in senso contrario cioè alle lancette di un orologio; nell'emisfero australe tengono direzione opposta, da O ad E, nel senso appunto delle lancette. Il moto di traslazione nell'emisfero boreale è da S E a N O, e in seguito a N E, in modo che il ciclone descrive una traiettoria parabolica con la concavità verso E; una simmetrica traiettoria descrivono nell'emisfero australe.

Molti cicloni si originano nel Mar delle Antille nella zona delle calme equatoriali e, seguendo sempre la stessa via, si dirigono attraverso l'Atlantico fino a raggiungere le coste occidentali dell'Europa, ove sono causa di forti tempeste; sul loro percorso possono provocare grandi disastri.

Movimenti atmosferici analoghi ai cicloni dell'Atlantico, quantunque in generale di intensità minore, si formano pure nell'Oceano Indiano, specialmente all'epoca in cui gli alisei si trasformano in monsoni. Prendono più particolarmente il nome di *tifoni* e la loro azione può essere, al pari di quella dei cicloni, disastrosa per le terre incontrate sul loro passaggio.

Le *trombe* sono anch'esse piccoli cicloni, che assumono forma ad imbuto con la parte assottigliata volta verso il mare; esse possono nel loro movi-

mento vorticoso sollevare a notevole altezza l'acqua del mare. Analoghi sono pure i *turbini* che si formano nell'interno delle terre ed i *tornados* delle coste dell'Africa occidentale e degli Stati Uniti.

Venti locali. — Fra i venti irregolari ricordiamo ancora:

Il *föhn* (*favonius* dei Romani) che soffia in direzione S O sul versante settentrionale delle Alpi Svizzere; è un vento molto caldo, che provoca un rapido scioglimento delle nevi e dei ghiacci, donde il nome di *gletscherfresser* o *divoratore dei ghiacciai*, con cui molto propriamente viene indicato dagli abitanti.

Per spiegarne l'alta temperatura si ritenne a lungo che il *föhn* fosse un vento di origine africana e più particolarmente del Sahara; si deve invece considerare come prodotto da correnti atmosferiche provenienti dall'Atlantico, che conservano un'alta temperatura (anzichè raffreddarsi) nel sorpassare i rilievi montuosi. Questa apparente anomalìa deriva dal fatto che tali venti essendo umidi, la condensazione e precipitazione del loro vapor acqueo, nell'innalzarsi che fanno in zone a bassa temperatura, restituisce loro in parte in calore perduto.

Il *sirocco*, vento caldo e umido di S e S O, che soffia nelle regioni mediterranee.

La *bora*, vento di N E, freddo secco, che soffia sulle coste orientali dell'Adriatico e sulla regione veneta.

Il *mistral*, vento di N O fortissimo, causa sovente di disastri nei paesi della Francia meridionale.

Il *simun*, o meglio *samun* (cioè « il velenoso »), vento caldissimo, che può innalzare la temperatura fino a 50° e più, e che soffia nel deserto del Sahara, trasportando, anche a grandi distanze, nuvole di sabbie (fig. 7).

L'*harmattan*, vento caldissimo, caratteristico delle coste occidentali del Sahara, e che si può ritenere come derivato dagli alisei dell'Atlantico.

Il *chamsin*, pure caldissimo, dell'Egitto e regioni vicine.

Il *pampero* della Repubblica Argentina.

Il *crivetz*, vento di N E, umido e violento, che soffia sulle pianure della Russia meridionale e della Rumenia, provocando grandi precipitazioni atmosferiche e potendo, d'inverno, abbassare in poche ore la temperatura anche di 20°.

CAPITOLO IV.

Umidità e precipitazione atmosferica.

Umidità atmosferica. — L'acqua esposta all'aria va soggetta, in ogni tempo e luogo, al fenomeno della evaporazione, in diretto rapporto con la temperatura, lo stato di siccità ed i movimenti dell'atmosfera. L'origine dell'umidità atmosferica va quindi ricercata nella continua evaporazione delle masse acquee sia marine, che lacustri, fluviali, ecc. per opera del calore solare.

La distribuzione dell'umidità nell'atmosfera è abbastanza regolare; così essa va diminuendo con l'altitudine, per cui si giunge ad un limite superiore, ove l'aria è completamente e costantemente secca; così pure va diminuendo dall'equatore verso i poli seguendo, si può dire, l'andamento delle isoterme.

Notiamo però che parlando di umidità atmosferica si deve distinguere fra *umidità assoluta* e *umidità relativa;* la prima è il peso del vapor acqueo

Fig. 7. — Turbine di sabbia nel Sahara.

contenuto in un metro cubo di aria al momento in cui si fa l'osservazione; la umidità relativa è invece il rapporto tra la quantità di vapore contenuta nell'aria e quella che ne conterrebbe qualora fosse satura. A tali misure servono gli apparecchi detti *igroscopi* ed *igrometri.*

L'evaporazione varia evidentemente da luogo a luogo a seconda della posizione geografica, della temperatura, dei venti, ecc.; in uno stesso luogo poi varia nei diversi momenti, essendo massima d'estate e minima d'inverno; maggiore nelle ore calde del giorno, quando l'aria è agitata, ecc. È poi maggiore nell'emisfero australe che nel boreale per la maggior estensione degli oceani, benchè però in questo l'umidità relativa sia maggiore che in quello.

Neppure vanno confusi i dati relativi all'evaporazione con quelli della umidità; questa, essendo essenzialmente distribuita dal vento, può esser grande in una regione ove l'evaporazione è piccola e reciprocamente.

La quantità di acqua che annualmente evapora si può calcolare all'incirca di 500 chilometri cubî, per cui se non fosse della precipitazione che restituisce alla terra la parte evaporata, l'acqua non tarderebbe a scomparire dalla superficie del globo.

Rugiada e brina. — Durante la notte, specialmente dopo le giornate calde, l'irradiamento del calore assorbito dal suolo porta al suo raffreddamento e quindi anche al raffreddamento dell'aria immediatamente sovraincombente; perciò il vapor acqueo in essa contenuto si condensa e si deposita in forma di piccole gocce sopra i corpi e specialmente sopra i vegetali. Questo fenomeno costituisce la *rugiada,* sull'intensità della quale influiscono le differenze di temperatura fra giorno e notte, l'umidità dell'aria, il suo stato di quiete, ecc.; essa è quindi massima durante l'estate, nelle regioni tropicali, nelle montagne, mentre è minima nei deserti, quando soffia il vento, ecc.

Se il cielo è coperto di nubi, queste, ritardando l'irradiazione e quindi il raffreddamento del suolo, influiscono pure sulla quantità di rugiada, che sarà allora minore.

Quando poi l'abbassamento della temperatura arrivi sotto 0°, non solo l'acqua si condensa, ma questa sua condensazione avviene allo stato solido e si ha la *brina,* che si deposita in forma di aghi minuti riuniti a dendriti, aggregati stellari, ecc.

Nebbie e nubi. — Abbiamo già detto che l'umidità non altera nè il colore nè la trasparenza dell'atmosfera; quando però la quantità di vapor acqueo contenuto nell'aria oltrepassa, per una causa qualsiasi, il grado di saturazione, allora essa si condensa, dando origine alle *nebbie* ed alle *nubi,* formate da minutissime goccioline, che rimangono sospese nell'atmosfera per la loro aderenza con essa. In realtà non vi ha, quindi, differenza fra nebbie e nubi, soltanto si riserva il nome di nebbia ad indicare la condensazione quando si fa a contatto del terreno e quindi senza limiti ben distinti. La sua formazione è comune nei luoghi umidi e poco ventilati, ove possono essere rapidi i cambiamenti nella temperatura, così nelle montagne, nei mari nordici, ecc.; essa poi è maggiore nelle ore e stagioni fredde.

Quando la condensazione avviene negli strati superiori dell'atmosfera, si hanno allora le nubi, le quali per la loro forma e posizione si usano distinguere in: *cirri* (fig. 8) (il volgarmente detto *cielo a pecorelle*), nuvole leggiere, bianche, altissime, che si ritengono costituite da finissimi aghi di ghiaccio; *strati* (fig. 9), nuvole più o meno strette, allungate; *cumuli* (fig. 10) a contorni arrotondati ed accavallati gli uni sugli altri; *nembi,* nuvole dense, oscure, temporalesche. Si hanno poi tipi intermedî, come *cirri-strati, cirri-cumuli, cumuli-strati,* ecc.

Questa nomenclatura è essenzialmente dovuta a Poey, il quale però

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
INVENTARIO
N. 17661

indica anzitutto il *nuvolo* per eccellenzza, quando cioè il cielo è tutto ricoperto da un velo uniforme grigio o cenerognolo e la pioggia può cadere senza interruzione per ore e giorni.

L'altezza a cui si formano e si mantengono le nubi varia a seconda delle stagioni non solo, ma anche in una stessa stagione secondo le condizioni di temperatura, di vento, ecc.; si passa così dalle nuvole che quasi toccano il suolo a quelle poste all'altezza di parecchi chilometri, notando come la loro massima altezza, secondo i calcoli di Liais, potrebbe essere superiore

Fig. 8. — Cirri (secondo C. Singer).

agli 11 chilometri. Anche lo spessore delle nubi è molto variabile, potendosi da sottili veli trasparenti giungere fino a 5000 metri.

In generale con il riscaldamento della massa atmosferica le nebbie o le nubi si dissipano; ma se invece per una causa qualunque la condensazione aumenta, allora le gocce maggiori, risultanti dalla riunione delle minime primitive, diventano troppo voluminose per restare sospese nell'atmosfera e precipitano dando origine alla *pioggia*.

Distribuzione delle piogge. — La quantità di pioggia che cade annualmente alla superficie dei continenti può esser calcolata di oltre 120 mila chilometri cubi, quantità che sparsa regolarmente alla superficie terrestre la ricoprirebbe di uno strato d'acqua di circa 850 millimetri.

Tuttavia la precipitazione atmosferica è molto disugualmente distribuita e varia affatto da regione a regione; vi sono così zone ove non piove mai, oppure soltanto a lunghissimi intervalli di tempo, come nei deserti del Sahara e di Gobi, lungo le coste africane del Mar Rosso, in Arabia, nel Perù, nel Cile, ecc.; in altre invece la precipitazione è ecces-

siva. Il punto della Terra ove si verifica il massimo di pioggia sembra essere Cherra-Ponjee nell'Imalaia, ove la precipitazione raggiunge fin 14 metri all'anno.

La precipitazione atmosferica è annualmente maggiore nell'emisfero boreale che non nell'australe, benchè quivi l'evaporazione sia molto più intensa; ciò è dovuto, fra altre cause, al fatto che nell'emisfero boreale abbondano le terre, le quali funzionano da condensatori. In Europa il massimo di pioggia si ha durante i mesi caldi nelle zone interne, mentre sul litorale atlantico il fenomeno avviene nella stagione fredda. Nelle regioni

Fig. 9. — Strati (secondo C. Singer).

equatoriali poi si hanno generalmente due stagioni di piogge alternanti con due di siccità.

In Europa la media precipitazione annua è sulle pianure di 575 millimetri, mentre può salire a 1300 millimetri nelle regioni montuose; lungo le coste della Norvegia si ha il massimo della pioggia, che raggiunge annualmente 2 metri.

In Italia la distribuzione della precipitazione è alquanto irregolare in causa della posizione geografica; così da un minimo di circa 60 centimetri di pioggia in Sicilia (Palermo) si passa ad un massimo di 150, nelle provincie di Udine e di Belluno.

Influenza notevole sulla precipitazione atmosferica hanno i venti, sia con il raffreddare le masse d'aria che con l'accumulare il vapor acqueo; l'altitudine ; la vicinanza maggiore o minore di grandi masse acquee ; la posizione e l'altezza delle montagne, per cui, ad esempio, le regioni senza pioggia del Cile e del Perù sono tali, perchè si trovano ad occidente della catena delle Ande, la quale condensa l'umidità sul versante opposto.

L'influenza delle catene montuose si manifesta anche nel fatto che l'aria è obbligata a compiere un certo lavoro per sorpassarle ; innalzandosi, l'aria si dilata e per questo solo fatto perde una notevole quantità di calore, che porta ad una corrispondente condensazione di vapore. Perciò la pioggia è tanto più abbondante quanto più l'ostacolo opposto ai venti è elevato e repentino.

Neve e grandine. — Quando il raffreddamento dell'atmosfera si fa così intenso da discendere sotto 0°, allora non solo si ha la condensazione del

Fig. 10. — Cumuli (secondo C. Singer).

vapor acqueo, ma la sua solidificazione. In tali condizioni si origina la *neve*, in cui l'acqua si presenta sotto forma di fiocchi soffici e leggeri, costituiti da minuti aghi di ghiaccio variamente raggruppati, però sempre con simmetria esagonale. Questi fiocchi possono arrivare fino al terreno e ricoprirlo, quando gli strati atmosferici attraversati abbiano temperatura inferiore a 0°. La precipitazione atmosferica in forma di neve è in diretto rapporto con la latitudine e l'altitudine, per cui si produce, si può dire, costantemente nelle regioni polari e nelle montagne al di sopra del cosidetto *limite inferiore delle nevi persistenti* (Vedi pag. 19).

La *grandine* invece costituisce grani o chicchi, di grossezza e forma variabili, che risultano di ghiaccio limpido, oppure di aggregati fibrosi più o meno coerenti; le due strutture si possono anche osservare riunite in uno stesso grano in zone alternate. Nell'interno dei chicchi si può poi trovare una temperatura molto bassa, fin di — 10°.

Alla formazione della grandine non devono essere estranei fenomeni elettrici, poichè non vi ha, si può dire, grandine se non in precipitazioni temporalesche, accompagnate da scariche elettriche.

I temporali a grandine sono generalmente di breve durata, però sovente bastevole per causare effetti disastrosi; tali temporali si manifestano più specialmente in principio dell'estate e nelle regioni temperate, mentre la caduta della grandine è rara nei paesi tropicali e polari. Essa avviene poi più frequentemente nelle ore calde del giorno e sulle regioni a colline o rilievi di mediocre altezza.

CAPITOLO V.

I continenti.

Distribuzione dei continenti e degli oceani alla superficie terrestre. — I continenti e gli oceani formanti la superficie terrestre sono molto disugualmente distribuiti, prevalendo in modo assoluto questi su quelli; infatti, calcolando la superficie terrestre uguale a 510 milioni di chilometri quadrati, 365 rappresentano gli oceani, mentre le terre emerse non comprendono se non i 145 rimanenti, cioè i primi equivalgono a circa $^7/_{10}$ della superficie totale.

Questa differenza, già notevole, fra continenti ed oceani diventa ancora più accentuata quando si vogliano considerare separatamente i due emisferi; si scorge allora che l'emisfero boreale è quello che comprende la maggior parte delle aree continentali e può quindi esser chiamato *emisfero continentale,* mentre l'australe può a buon diritto indicarsi come *emisfero oceanico.* Infatti dei 145 milioni di chilometri quadrati di terre emerse circa 100.800.000 appartengono all'emisfero boreale e soltanto 44.200.000 all'australe, con un rapporto quindi fra i due di 2,2 a 1 (fig. 11).

Un'osservazione notevole da farsi è l'opposizione diametrale che si può dire esistere fra aree continentali e masse oceaniche; così il centro dell'Oceano Pacifico corrisponde press'a poco al centro del continente asiatico-europeo, mentre il continente che si ritiene stia ad occupare il polo antartico corrisponde all'Oceano Glaciale Artico.

Le terre emerse a seconda della loro maggiore o minore estensione si usano distinguere in *continenti* ed *isole.* I continenti geologicamente si possono riunire in tre grandi gruppi comprendenti, il primo, l'Europa e l'Africa; il secondo, l'Asia e l'Australia ed il terzo le due Americhe. Sembra a primo aspetto che sia cosa arbitraria lo staccare l'Asia dall'Europa, la cui riunione parrebbe invece affatto naturale, ma in realtà si deve tener conto che questi due continenti sono separati da una notevole depressione che, correndo al piede orientale della catena degli Urali, fa nettamente comunicare l'Oceano Glaciale con il bacino del Mar Caspio e si può dire con l'Oceano Indiano.

Forma dei continenti. — Per quanto un esame sommario non lasci che rilevare una forma molto irregolare nell'aspetto dei continenti, tuttavia si può in essi riconoscere una forma triangolare con la base posta a nord ed

il vertice diretto a sud (fig. 11). Il fatto, ben evidente per le due Americhe, si può pure osservare nell'insieme dell'Europa con l'Africa e dell'Asia con l'Australia; di più la parte meridionale di ogni massa continentale è sempre più o meno deviata verso est.

Le tre grandi masse continentali presentano inoltre una divisione trasversale costituita da depressioni, che sono il Mediterraneo, fra l'Europa e

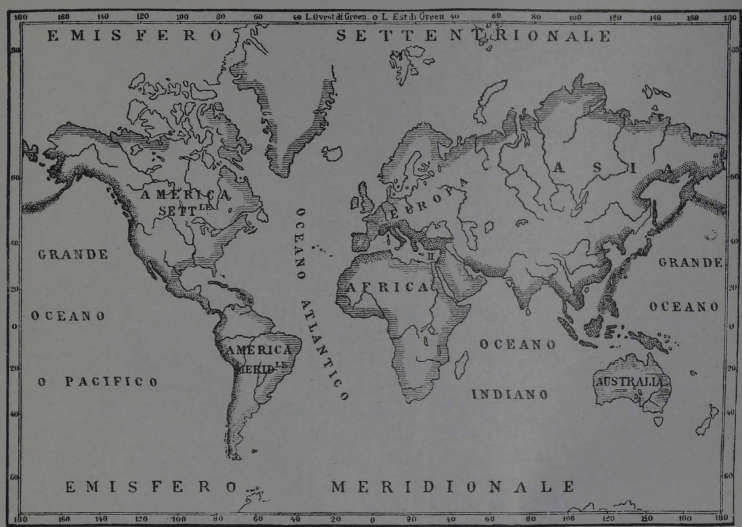

Fig. 11. — Planisfero per dimostrare la disposizione delle masse continentali ed il loro rapporto con le masse oceaniche.

l'Africa; il Mar delle Antille, fra le due Americhe ed il Mar delle Indie, tra l'Asia e l'Australia.

La forma all'incirca triangolare con il vertice a sud si ritrova pure nelle grandi penisole e così nel Kamtchatka, nell'Indocina, nell'Indostan, nell'Arabia, nella Florida, nella Scandinavia e nelle grandi penisole mediterranee (1).

---

(1) La forma e la posizione delle masse continentali ha portato i Geologi alla concezione di parecchie ipotesi orogeniche della Terra, la cui esposizione esorbita però dall'indole elementare del nostro Trattato, ma che il lettore, volendolo, potrà trovare in opere maggiori. Non si deve però tacere, per la sua genialità e le importanti conseguenze a cui giunge, la recente teoria del Wegener di Gratz, quella cioè degli *spostamenti dei continenti*.

Il Wegener ammette che i diversi continenti costituissero in antico (forse ancora nel Paleozoico Superiore) una massa unica, staccata poi in frammenti che si sarebbero spostati, quasi gal-

Altro carattere interessante è il diverso frastagliamento delle coste dei continenti, frastagliamento che è specialmente accentuato nelle loro parti settentrionali e che raggiunge il suo massimo nell'Europa (con regioni specialmente favorite nella Grecia, Italia, Scandinavia, ecc.) mentre il minimo si verifica nell'Africa.

Questo fatto ha la sua importanza, poichè nel frastagliamento delle coste la navigazione trova comodi approdi e ricoveri e quindi facilità di comunicazione; a tale particolarità si può in parte attribuire lo sviluppo della civiltà, mediante relazioni fra i varii popoli, rapido nel primo caso, molto lento invece nel secondo; l'Africa informi.

Rilievi continentali. — La superficie dei continenti presenta zone poco accidentate (pianure, altipiani, bassipiani) e rilievi più o meno elevati ed estesi, che formano le catene montuose; notiamo però subito che per quanto grandiosi appariscano i rilievi terrestri, la parte loro che s'innalza sul livello del mare è ben poca cosa in confronto del raggio terrestre, per cui si esagera quando si paragonano tali rilievi alla asperità del guscio d'un uovo o della buccia d'un arancio. Il Monte Bianco, ad esempio, con i suoi 4810 metri, non rappresenta che $\frac{1}{1321}$ del raggio terrestre; cosicchè sopra una sfera di 1 metro di raggio, le maggiori altezze non formerebbero sporgenze superiori ad 1 millimetro.

L'altezza media delle terre emerse, nell'insieme, si può ora ritenere di circa 735 metri, mentre soltanto un secolo addietro la si ammetteva con Humboldt di appena 300; varia però molto da continente a continente e, quantunque non vi sia ancora perfetto accordo circa i dati, si può ritenere, secondo i calcoli più recenti ed attendibili, di 330 metri per l'Europa, 1010 per l'Asia, 660 per l'Africa, 650 per le due Americhe e 310 per l'Australia.

Come si scorge da tali cifre esiste un certo rapporto fra l'altezza media e l'ampiezza dei continenti, per cui mentre l'Asia, il massimo, ha la media la più elevata, nei più piccoli, Europa ed Australia, si hanno le cifre

---

leggiando sulla parte inferiore della crosta terrestre (il denso *Sima*) che dovrebbe essere da considerare come corpo viscoso.

Ciò spiegherebbe, ad esempio, perchè l'America del Nord e la Groenlandia quasi si modellano sull'Europa e l'America del Sud viene ad incastrarsi, a mezzo del Brasile, nel golfo di Guinea, mentre la Paleontologia e la Litologia sembrano dimostrare come sia esistita una antica comunicazione terrestre tra Brasile e Africa.

Nell'ipotesi del Wegener l'Africa sarebbe stata attorniata dall'America del Sud, dal continente antartico, dall'Australia e dall'India, collegata, questa, a Madagascar e alla costa somala. L'America del Nord sarebbe stata saldata all'Europa e tra l'Africa e l'India, da una parte, e l'Europa e l'Asia, dall'altra, doveva esistere un canale lungo stretto, il Mediterraneo di allora; la *Teti* di Suess.

Altre prove, oltre a quelle indicate per Africa e Brasile, si avrebbero molteplici, così nella concordanza di flora e fauna tra l'America e l'Africa-Europa; nelle parentele di fauna tra l'India e il Madagascar; nell'esistenza ancora attuale di Marsupiali in Australia e nell'America del Sud; ecc.

Il movimento dei continenti durerebbe tuttora e ciò spiegherebbe l'aumentare della distanza tra l'Europa e l'America, fatto che sembra dimostrato dalle differenze nella longitudine risultanti da misure eseguite nel corso del secolo XIX.

minori. Notiamo ancora che nell'Asia $^1/_3$ della superficie totale si trova sopra i 1000 m., mentre nell'Africa $^1/_3$ della superficie è compresa fra 500 e 2500 m., e nell'Europa $^3/_4$ della superficie sono invece sotto 500 metri.

Le altezze massime osservate nei diversi continenti sono:

Per l'Asia, l'Everest (8840 metri, massima del globo), il Godwin Austin nel Caracorum (8620 metri) ed il Kanchanjunga, pure nel Caracorum, (8580 metri).

Per l'America settentrionale, il Logan (5948) ed il Sant'Elia (5500) nell'Alaska ed il Picco di Orizaba (5584) nel Messico.

Per l'America meridionale, l'Aconcagua (6970) nelle Ande del Cile, il Sorata (6650) ed il Tupungato (6710) nelle Ande boliviane.

Per l'Africa, il Kilimandjaro (6010) ed il Kenya (5852) nell'Africa orientale inglese e la Punta Margherita (5125) del Monte Stanley, nella catena del Ruwenzori.

Per l'Europa, l'Elbruz (5645) nel Caucaso ed il Monte Bianco nelle Alpi (4810).

Nell'Australia pochi rilievi oltrepassano i 2000 metri; però nelle regioni australi si avrebbero: alle isole Hawaï, Mauna-Loa (4194) e Mauna-Kea (4253); nella Nuova Guinea lo Stanley (4025?); nelle terre antartiche l'Erebus (3770) ed il Terror (3318).

Riguardo alla posizione dei rilievi montuosi si osserva generalmente che essi non sorgono nell'interno dei continenti, ma hanno per lo più posizione eccentrica, presso la periferia, venendo a limitare l'oceano o qualche depressione interna, in modo che dei versanti quello a pendìo più forte precipita rapidamente verso la depressione (fig. 12 e 13). Ai massimi rilievi terrestri corrispondono quindi a relativamente poca distanza le massime profondità oceaniche; il fondo degli oceani riproduce poi in senso inverso quanto si verifica alla superficie dei continenti.

Si può quindi ammettere la legge, stabilita dal De Lapparent, che quando sul globo si originò un rilievo importante, esso venne a formare la sponda di una depressione, oceanica o lacustre, sotto la quale si affonda per il suo versante più ripido ed in generale l'importanza della catena è in rapporto con quella della depressione che fiancheggia. Il fatto si osserva per l'Imalaia, le Ande, ecc. e lo si constata per la catena alpina, che con il versante piemontese e lombardo precipita rapidamente nella depressione della pianura padana.

Montagne e loro diversi tipi. — Vi sono rilievi della superficie terrestre i quali si innalzano, isolati, a grande altezza sopra la regione circostante: così l'Etna in Sicilia, il Kenya ed il Kilimandjaro in Africa, il Fushiama nel Giappone, ecc. Essi per la loro forma costituiscono il cosidetto *tipo conico*, perchè talora a cono perfetto, ma sono relativamente rari e corrispondono sempre a montagne di origine vulcanica.

Ordinariamente i rilievi, o *montagne*, si riuniscono in gruppi più o meno irregolari, oppure si dispongono in *catene*, che si possono estendere anche per centinaia di chilometri, risultando dall'allineamento di vette collegate

le une alle altre da depressioni più o meno accentuate, che formano i *colli, valichi, passi, bocche, bocchette, forcelle, colme, selle*, ecc.

L'allineamento può essere semplice (*catena lineare*), come, ad esempio, nei Pirenei, ma più comunemente sono parecchi riuniti in serie ripetute più o meno parallelamente (*catene parallele*), fra cui si interpongono valli longitudinali, come, ad esempio, nel Giura, nelle Alpi, nell'Appennino, ecc.

Si ha ancora il *tipo a massiccio,* o *horst,* rilievo unico, costituito da terreni generalmente molto antichi, privo di valli longitudinali, per lo più tondeggiante alla base; questo tipo di rilievo assume talora la forma di

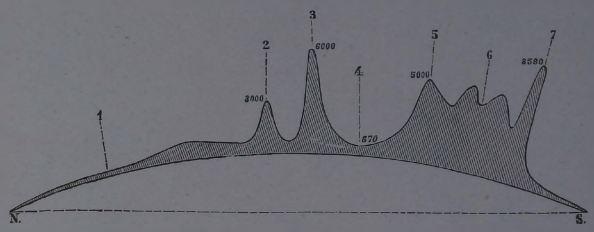

Fig. 12. — Sezione da N a S attraverso l'Asia fra il 69° e il 29° parallelo di lat. sett.
1, Siberia. - 2, Altai. - 3, Tian Cian. - 4, Lob Nor. - 5, Cuen Lun. - 6, Tibet.
7, Kanchanjunga (Imalaia) (De Lapparent).

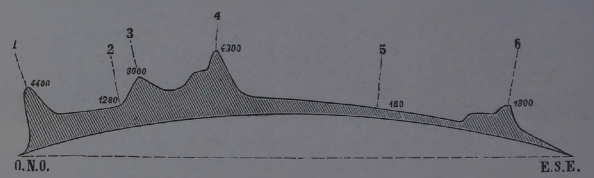

Fig. 13. — Sezione da O N O a E S E attraverso l'America settentrionale fra il 42° e il 35° parallelo di lat. N.
1, Monte Shasta. - 2, Gran Lago Salato. - 3, Union Peak. - 4, Longs Peak (Montagne Rocciose).
5, Mississippi a St-Louis. - 6, Monti Appalacchiani (De Lapparent).

enormi pilastri, in seguito a fenomeni di fratturazione nella crosta terrestre, accompagnati da sprofondamenti. Esempi di *horst* abbiamo in Germania nell'Harz e nella Foresta Nera; nel Plateau Central della Francia; nel massiccio corso-sardo del Mediterraneo; nel Ruwenzori dell'Africa centrale, ecc.

In generale dalle catene montuose, come conseguenza dei fenomeni di erosione, si diramano propaggini, o *contrafforti,* che si avanzano più o meno nella pianura circostante, limitando depressioni, ove scorrono ordinariamente torrenti, e che aumentano quindi l'estensione della catena stessa.

Spartiacque o *linea di displuvio* si dice in ogni catena la linea congiungente le vette e le creste, in modo che le acque scorrono in opposta direzione di qua e di là della linea stessa.

In ogni catena si può dire che si verifica il fatto, già indicato, della diversa inclinazione dei versanti, essendo uno più ripido, l'altro relativamente dolce; ad ogni modo, tranne nelle parti più vicine alla sommità che possono presentare pareti verticali o quasi, la pendenza media delle catene montuose è sempre minore di quanto si possa credere, raggiungendo di rado il 10 %.

Grande influenza ha sulla forma dei rilievi la natura delle rocce costituenti ed è così che le montagne granitoidi (specialmente quelle più elevate

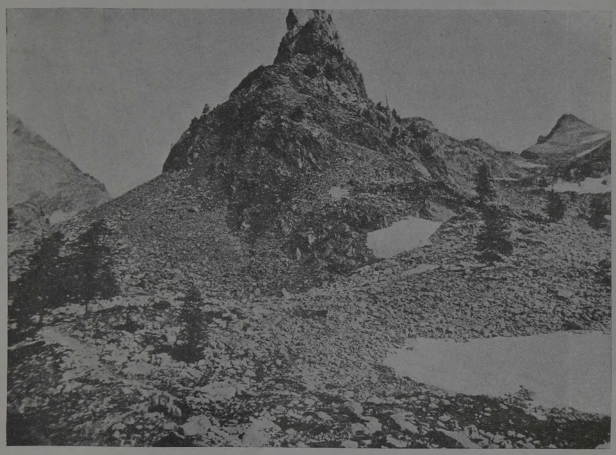

Fig. 14. — Il Caire Ponciù; rilievo di natura granitica nelle Alpi Marittime.

ove maggiormente si fa sentire l'azione del gelo e disgelo) terminano in denti, creste, guglie, picchi, ecc. (Fig. 14). Queste forme si ritrovano sovente dove sono rocce dolomitiche.

Le rocce schistose possono pure dare picchi e guglie, ma più comunemente presentano creste lineari con fianchi scoscesi; le rocce calcaree formano piani fortemente incisi con frequenti escavazioni superficiali, più o meno profonde; le rocce clastiche, come le arenarie, assumono sovente, per fenomeni di erosione, forma a pilastri, mentre le rocce argillose e marnose dànno piuttosto dei dorsi dolci, talora però con ripidi pendii e profondi solchi, conseguenti all'azione erosiva dell'acqua.

Si usa anche la classificazione seguente dei monti o rilievi a seconda della loro forma generale:

Tipo a cono, al quale fu già accennato, caratteristico delle montagne vulcaniche.

Tipo ad argine, dovuto a formazioni moreniche e talora molto regolare, come nella Serra d'Ivrea in Piemonte.

A piramide (fig. 15) generalmente dato da rocce cristalline, come al Cervino, al Monviso, ecc.

A piramide, generalmente dato da rocce cristalline, come al Cervino, al Monviso, ecc.

Tabulare, a superficie terminale pianeggiante in conseguenza di fenomeni erosivi o di sprofondamenti laterali, come le *ambe* dell'Abissinia.

A tetto, dovuto ad erosione di strati inclinati.

A sega o *dentato*, in rocce cristalline o dolomitiche, come nelle Alpi, al Resegone, ecc.

A dorso o *collina*, nei rilievi poco elevati, costituiti da rocce calcaree o sedimentarie, facilmente erodibili.

Fig. 15 — La Cima Lusiera (Alpi Marittime) montagna gneissica a forma di piramide.

Valli. — Si dicono le depressioni allungate che solcano i rilievi montuosi, prendendo anche il nome di *vallone*, se poco estese.

Le valli si possono distinguere essenzialmente in *longitudinali* o *principali*, esistenti nelle catene a tipo parallelo e correnti nel senso della catena stessa, ove furono originate dai medesimi fenomeni orogenici, che diedero luogo alla formazione dei rilievi; tali sarebbero le valli del Po, del Reno, del Danubio, ecc.; e *trasversali*, che si dipartono dall'asse della catena con un angolo più o meno retto; esempio: valli della Dora Riparia, della Dora Baltea, della Sesia, del Ticino, ecc., nella catena alpina.

Riguardo all'origine, si usa anche classificare le valli in:

1° *Tettoniche* o *originarie*, quando sono dovute a fenomeni orogenici, cioè a ripiegature negli strati, a fratture, a sprofondamenti, ecc.; caratte-

ristiche valli di sprofondamento sono i *Graben* o *Rifts*, tipo rappresentato dalla Fossa del Reno; dal Mar Rosso; dal Great Rift Valley e dall'Albertine Valley in Africa, ecc.

2° *Secondarie*, quando sono dovute a fenomeni erosivi fluviali, glaciali, ecc., o all'accumulazione di materiali detritici per azione eolica (*dune*), glaciale (*morene*), vulcanica, ecc.

Ogni valle ha ordinariamente il suo fondo, o *thalweg*, occupato da un corso d'acqua (fiume o torrente), la cui azione tende continuamente ad accentuare la depressione e la profondità della valle stessa; sovente, infine, al congiungimento di due valli opposte si ha una depressione nella catena con formazione di valichi, passi, colli, ecc., mentre lo sbocco di una valle secondaria in una primaria si può fare con brusco dislivello, conseguente alla diversa intensità della erosione (*valli sospese*).

La forma complessiva della valle è comunemente quella a V, quando l'incisione avvenne in rocce compatte e con poco sfacelo laterale; le valli invece state percorse da ghiacciai, che fecero sentire intensamente la loro azione erosiva, prendono una tipica forma a U, mentre si ha forma *a conca* nelle valli scavate in rocce poco compatte e con facile degradazione laterale. Si ha finalmente il *tipo terrazzato* o a *gradini*, quando sopra i versanti l'erosione si è esercitata su strati con differente durezza, oppure vi fu diminuzione, ad intervalli, nell'intensità dei fenomeni erosivi glaciali, fluviali, ecc.

Pianure si dicono tratti più o meno estesi della superficie terrestre uniformemente pianeggianti, a poca altezza sul livello del mare od anche, ma più di rado, al di sotto di tale livello (*bassipiani*), come la regione dei Chotts nel Sahara algerino (30 metri sotto il livello del mare); il bacino del Mar Caspio, che si estende per oltre 500.000 chilometri quadrati alla media di — 23 metri; la regione (in parte) dei grandi laghi dell'America settentrionale; la regione del lago Tiberiade e del Mar Morto nella Palestina, che in qualche punto è a circa — 400 metri, ecc.

Le pianure sono dovute o a terreni stratificati, poco o niente disturbati dalla loro posizione originaria; oppure all'accumulo di materiali alluvionali in depressioni dapprima occupate dal mare, come, ad esempio, la pianura del Po.

A seconda della natura del suolo e della vegetazione che vi prospera, le pianure prendono localmente nomi differenti, così:

Terre nere o *tchernozom* della Russia meridionale, ricche in *humus* e di grande fertilità, specialmente in cereali; in esse abbondano gli avanzi fossili di animali tuttora viventi nelle steppe.

Polders, terre basse, acquitrinose o torbose dell'Olanda.

Steppe, della Russia e dell'Asia settentrionale, erbose o gelate, a seconda delle stagioni.

Putzas, dell'Ungheria, fertili e corrispondenti ai *tchernozom* della Russia.

Tundras, paludose, della Siberia.

Praterie o *Savane,* dell'America settentrionale.

Llanos, del Venezuela e della Colombia; *Pampas* e *Campos* della Repubblica Argentina, con abbondante vegetazione erbacea nella stagione delle piogge.

Deserti, aridi e sabbiosi dell'Africa e dell'Asia.

Lande, della Francia meridionale, con acquitrini, torbiere e vegetazione erbacea.

Vaude (in Piemonte), e *Brughiere* (in Lombardia), a vegetazione erbacea od arbustacea, ecc.

Peneplani, cioè *quasi pianure,* si dicono regioni di formazioni molto antiche, in origine fors'anche montuose, ma che furono ridotte quasi pianate dai fenomeni di erosione e di denudazione, ad un tipo pianeggiante, benchè vi possano ancora emergere, in forma di rilievi più o meno accentuati, le parti rappresentate da rocce più dure (esempio si ha nella regione, in parte, dei grandi laghi africani).

Altipiani o *acrocori* sono regioni pianeggianti, poste a notevole altezza sul livello del mare, come il Tibet (+4000 m.), la Bolivia (+3800 m.), l'Africa centro-equatoriale (+ 2000 m.), ecc.

Isole. — Si dicono terre circondate completamente dal mare e le cui dimensioni possono variare da poche centinaia di metri quadrati, come gli isolotti del littorale della Liguria e della Toscana, fino a raggiungere milioni di chilometri quadrati, come la Groenlandia, la Gran Brettagna, Madagascar, ecc.

Si possono distinguere in:

Continentali, quando non solo sono vicine ad un continente, ma conservano con esso stretti rapporti di costituzione geologica, di flora, di fauna, ecc.; la primitiva congiunzione fra isola e continente è quindi ben evidente ed il tratto di mare divisorio non ha grande profondità. Sono di questo tipo le isole della Dalmazia, della Grecia, della Scandinavia, ecc.

Oceaniche, quando sono poste a notevole distanza dai continenti, con grandi profondità marine interposte e notevoli differenze di costituzione, di flora, di fauna, ecc. Di queste isole, alcune rappresentano i residui di continenti sfasciati (Ceylon, Madagascar), oppure sono di origine vulcanica, come Sant'Elena, le Hawaï, le Lipari o Eolie, ecc., oppure sono di origine corallina, cioè *atolli,* di cui si parlerà in seguito.

Laghi. — Si dice *lago* una depressione continentale in forma di bacino, non comunicante direttamente con il mare, nella quale si raccolgono le acque della circolazione superficiale per mezzo di *affluenti,* come anche le acque della circolazione sotterranea della regione circostante. In questo secondo caso però non vi è sempre presenza di affluenti, e l'alimentazione del lago vien fatta sopra i versanti o sul fondo stesso per mezzo di polle, infiltrazioni, sorgenti subacquee, ecc.

L'uscita o *efflusso* dell'acqua dalla depressione si effettua ordinariamente per mezzo di uno o più *emissari,* che sono superficiali e visibili, ma

talora anche sotterranei e quindi invisibili; gli emissari possono però mancare del tutto, avendosi in tal caso laghi nei quali la funzione regolatrice della quantità dell'acqua viene compiuta dall'evaporazione (fig. 16).

L'*ampiezza* dei laghi varia moltissimo; da poche centinaia, od anche soltanto diecine di metri quadrati, come per molti laghi alpini, fino a raggiungere migliaia di chilometri quadrati, come, ad es., il Mar Caspio, considerato ordinariamente come un lago, la cui superficie è di circa 400.000 kmq.: il lago Victoria e gli altri laghi dell'Africa Centrale; ecc.

Anche la *profondità* è molto variabile; se è di poco momento, la depressione occupata dall'acqua prende più particolarmente il nome di *stagno*,

Fig. 16. — Il Lago Salato privo di emissari di Too Gyagar nel Tibet (da F. v. Richthofen).

ma può anche essere rilevante; si ha così una profondità massima di 300 metri nel lago di Ginevra, di 252 metri nel lago di Costanza, di 372 nel Lago Maggiore, di 414 nel lago di Como, ecc.

Sovente poi il fondo del lago è notevolmente al disotto del livello del mare: di 178 metri al Lago Maggiore, di 215 metri al lago di Como, di 280 metri al lago di Garda, ecc. Generalmente però il livello dei laghi è superiore a quello del mare, come si verifica per i laghi ora citati, ma non mancano esempi di laghi posti invece notevolmente al di sotto del detto livello ed allora sono generalmente senza emissari; è questo il caso del Mar Morto, posto a — 390 m., di parecchi *chotts* del Sahara algerino, a — 30 metri, ecc.

L'acqua dei laghi è ordinariamente dolce; esistono però numerosi laghi delle acque salmastre od anche fortemente salate, così certi laghi della California (Mono, Owen, ecc.), ove la quantità dei sali può raggiungere l'enorme percentuale di 50 grammi per litro.

La *salsedine* nei laghi è in generale la conseguenza di una salsedine originaria, ma può anche essere acquisita in quelli che non hanno emissario,

per i quali, come fu detto sopra, è l'evaporazione che funziona da regolatore della quantità di acqua. Infatti, mancando l'emissario, le proporzioni, anche minime, di sali portate dalle acque alimentatrici, superficiali o sotterranee, con l'andar del tempo vengono concentrate appunto in seguito ai fenomeni di evaporazione; in generale però i laghi privi di emissario sono destinati, specialmente se l'evaporazione è molto forte, a disseccarsi più o meno rapidamente ed a scomparire.

In quanto al grado di *purezza* e di *potabilità* delle acque lacustri, nulla si può affermare in generale; certo è che la natura dell'acqua si risente della natura delle rocce esistenti nel bacino di alimentazione, avendosi, ad esempio, acque dure o crude per i laghi delle regioni calcaree e gessifere ed essendo invece pure in zone di graniti, gneiss od altre simili rocce cristalline.

Più il lago è grande e maggiormente le sue acque saranno pure e fredde, mentre l'acqua degli stagni e dei laghi piccoli (specialmente se poco profondi) si risente molto della temperatura ambiente, come può anche essere contaminata dalle acque superficiali che vi affluiscono o dalle abitazioni poste nelle vicinanze. Nei laghi di alta montagna diminuiscono quindi grandemente le probabilità di inquinamento e le loro acque (al pari di quelle dei laghi di una grande estensione) possono essere adoperate per l'alimentazione idrica dei centri abitati, avendo però nel secondo caso la precauzione di pigliarle ad una certa distanza dalle sponde. Parecchie grandi città, come Zurigo, Ginevra, Glascow, si alimentano appunto con l'acqua dei loro laghi.

Riguardo all'*origine* si possono distinguere i seguenti tipi principali di laghi:

Laghi tettonici, nei quali la formazione della depressione che funziona da bacino fu provocata da fenomeni tettonici, vale a dire sprofondamenti, fratture, sollevamenti, sinclinali, ecc., che concorsero pure a dare l'aspetto orografico alla regione circostante del bacino lacustre.

Sono laghi generalmente molto ampi, alla formazione dei quali, oltre ai fenomeni tettonici, poterono aver concorso l'azione dei fiumi, dei ghiacciai, ecc. Da riferirsi a questo tipo sarebbero i grandi laghi dell'Italia settentrionale (1) (Orta, Maggiore, Como, Iseo, Garda, ecc.), quelli di Ginevra, Neuchâtel, Costanza, Zurigo, e parecchi altri della Svizzera, Germania, Francia, ecc.; i grandi laghi dell'America settentrionale (Eriè, Ontario, Michigan, Superiore, ecc.); i laghi dell'Africa centro-orientale, come il Victoria (il più gran lago di acqua dolce dopo il Lago Superiore dell'America del Nord) (fig. 17) ed i laghi Natron, Naivaisha, Elmenteita, Baringo, Sugota, Rodolfo, ecc. (nel Great Rift Valley) Nyassa, Tanganyika (1), Kivu, Alberto Edoardo, Alberto, ecc.

---

(1) Non è però improbabile che i grandi laghi subalpini possano essere stati in origine rappresentati da *fiordi*, analoghi a quelli della Scandinavia, ecc.; cioè depressioni vallive occupate dal mare ed in seguito dai ghiacciai.

(1) Certe osservazioni, riferentisi specialmente alla presenza nella fauna profonda di particolari organismi (come Meduse, ecc.), fecero però nascere il dubbio che i laghi Victoria, Tanganyika e Nyassa, anzichè *tettonici* si debbano invece considerare come *relitti*.

Laghi oceanici o *relitti* o *di reliquato.* — Rappresentano i residui di antichi mari in parte prosciugati, oppure frammenti di oceano sottratti al bacino primitivo da fenomeni geologici, che portarono a spostamenti notevoli del suolo. Sono di questo tipo il Gran Lago Salato degli Stati Uniti, il Mar Morto (fig. 18), il Baical, il Mar Caspio, l'Aral, ecc.; i due ultimi citati, costituenti forse in origine propaggini dell'attuale Oceano Glaciale Artico. A questa categoria di laghi vanno anche riferiti i cosidetti *laghi di costiera,* con acqua dolce o salmastra, che sono insenature state sepa-

Fig. 17. — Le sponde del Lago Victoria.

rate dal mare in seguito a fenomeni di interramento o di alluvionamento, dovuti generalmente all'azione combinata del mare e dei fiumi. Esempi di laghi di costiera sono quelli di Lesina e Varano nelle Puglie; molti delle coste atlantiche della Francia meridionale, delle coste tedesche del Baltico, ecc.

Laghi craterici. — Sono crateri di vulcani spenti da tempo più o meno remoto, in cui si sono accumulate le acque della precipitazione atmosferica; la loro speciale origine spiega quindi la loro forma più o meno circolare (fig. 19), talora anzi perfetta. Laghi craterici sono quelli di Albano e di Nemi nel Lazio; di Monticchio al Vulture; parecchi della regione dei Puys dell'Alvernia nella Francia centrale, ecc.

Di tipo analogo sono pure i *laghi intervulcanici* o *intercraterici*, che si hanno quando si uniscono in un solo bacino diversi antichi crateri; esempio: i laghi di Bolsena e di Vico.

In certe località i laghi craterici vanno riferiti a crateri di esplosione; sono cioè cavità in forma di enormi voragini, apertesi durante un paros-

sismo vulcanico, non di rado senza che vi sia stata eruzione di materiale lavico, occupate in seguito dall'acqua. Tale sarebbe l'origine dei *Maare* (fig. 20) caratteristici dell'Eifel in Germania.

Laghi di sbarramento, prodotti dallo sbarramento, avvenuto per fenomeni vari, di una depressione in cui scorreva primitivamente acqua, che venne così ad accumularsi dietro l'ostacolo.

Lo sbarramento può esser stato operato da frane o scoscendimenti, come è, ad esempio, per il lago di Alleghe, nel Bellunese, formato dal Cordevole

Fig. 18. — Sponde settentrionali del Mar Morto.

nel 1771, e per quello di Poschiavo nel Bernina; oppure da fenomeni alluvionali, come è, almeno in parte, il caso dei laghi di Cavazzo nel Friuli, di Levico e Caldonazzo presso Trento, ecc.; oppure dal ghiaccio (lago del Miage nel gruppo del Monte Bianco) oppure, ma più raramente, dall'accumulo di deiezioni vulcaniche o colate di lava, come il lago di Eydat in Alvernia.

Laghi morenici, che si hanno quando la depressione lacustre fu chiusa da morene abbandonate da un ghiacciaio durante una fase di ritiro; esempio ne sarebbe il lago Fisch, nei Carpazi, e per le Alpi parecchi nel gruppo del Monte Rosa, del Monte Bianco, ecc.

Questo tipo si collega evidentemente con quello dei laghi di sbarramento,

di cui si può considerare come un caso particolare. Notiamo a questo proposito che lo sbarramento essendo stato fatto da materiali incoerenti ed opponendo quindi relativamente poca resistenza alla spinta delle acque, esso può facilmente esser rotto e sfasciarsi. Il bacino allora si vuota improvvisamente, provocando inondazioni repentine e disastrose, di cui si ebbero già numerosi esempi in parecchie regioni delle Alpi, specialmente per laghi di sbarramento glaciale o morenico.

Altro tipo di laghi morenici è dato da quelli che occupano depressioni comprese tra antiche morene, specialmente frontali, negli anfiteatri more-

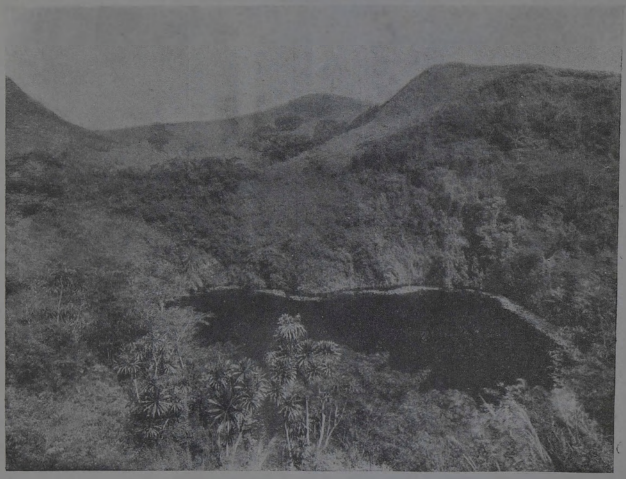

Fig. 19. — Lago Cratere nella regione del lago Alberto (Africa Equatoriale).

uici; sono laghi irregolari, più o meno ampi e profondi, generalmente occupati in parte da torbiere od in queste talvolta completamente trasformati.

Tali laghi si dicono *intermorenici*, e ne abbiamo esempio presso Torino, in quelli di Trana e Avigliana; in quelli di Viverone, Candia, Azeglio, ecc., nei dintorni d'Ivrea; nei laghi di Varese, Biandronno, Monate, ecc., in Lombardia; di San Daniele nell'Udinese, ecc.

Laghi di erosione si dicono quando occupano una cavità più o meno ampia, scavata dalle acque fluviali (i cosidetti *laghi vallivi*, di cui è esempio il lago di Cavazzo nel bacino del Tagliamento), ma più particolarmente dalla azione dei ghiacciai. A tale azione glaciale vanno riferiti numerosi laghi della Scandinavia, della Groenlandia, delle Montagne Rocciose, ecc.; non sono neppure rari nelle Alpi, abbondando, ad esempio, nelle Marittime (fig. 21).

Laghi carsici; sono dovuti a depressioni più o meno circolari od ellittiche in regioni calcaree o dolomitiche; in queste depressioni si accumulano acque portate generalmente dalla circolazione sotterranea ed i laghi risultanti vanno soggetti a frequenti mutamenti di livello.

Possono riferirsi a questo tipo anche i *laghi sotterranei,* dovuti alla circolazione acquea interna nelle regioni calcaree e provocati allora essenzialmente dall'azione chimica dell'acqua stessa. Le depressioni superficiali occupate dai laghi carsici sono dovute più comunemente a sprofondamenti di cavità e grotte risultanti dall'erosione sotterranea.

Fig. 20. — Il Wildsee nella Foresta Nera.

Paludi. — In certe regioni a clima umido (così in Olanda, in Irlanda, sulle coste dell'Africa occidentale, ecc.) si possono avere tratti pianeggianti o leggere depressioni occupate dall'acqua della precipitazione atmosferica, formando bacini lacustri poco profondi, a estensione variabile con le stagioni, detti *paludi* (fig. 22). Le paludi sono sempre più o meno invase dalla vegetazione, che dà poi origine a depositi di torba.

Il fenomeno delle paludi si ripete per l'espandersi ed il ristagnare dell'acqua alla foce di fiumi terminanti con un delta, così per il Po, il Rodano, il Nilo, ecc.

Fiumi. — A differenza dei laghi, che sono bacini ove l'acqua si rinnova lentamente, i *fiumi* sono invece masse d'acqua in continuo movimento.

L'acqua del fiume scorre in un *letto* o *alveo*, le cui dimensioni vanno

generalmente crescendo verso la foce, essendo però minime (ma a massima pendenza) nelle regioni montuose, ove il fiume si manifesta più particolarmente in forma di *torrente*. Ogni fiume presenta poi sempre due letti; uno *maggiore*, che invade nei periodi di piena, ed uno *minore*, nel quale scorre durante il periodo normale.

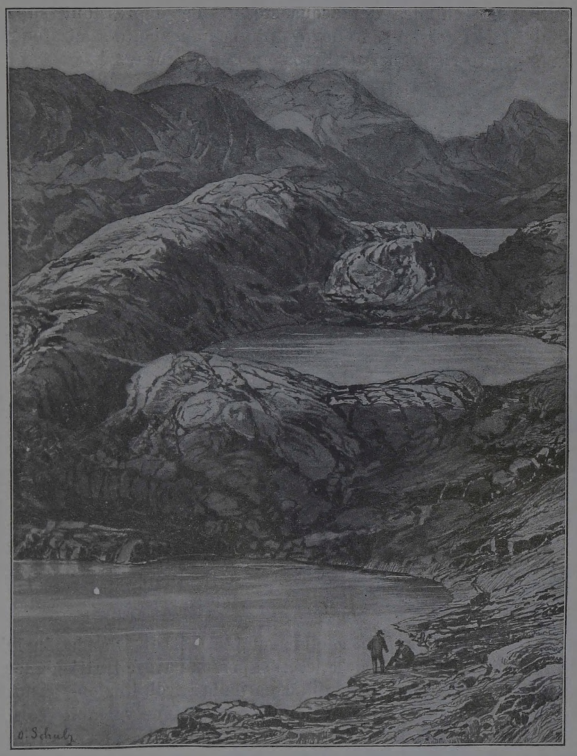

Fig. 21. — I laghi del Basto (Alpi Marittime).

La *velocità* della corrente è variabile da punto a punto, ed anche a seconda dei periodi di stagione; su di essa influiscono essenzialmente la pendenza del letto (che se del 1:1000 è già da considerarsi grande), la sua ampiezza e la portata. Ad esempio, la velocità del Po, presso la sua confluenza con il Ticino, è di 1,5-2 metri al secondo, ma sale fino a 4 e più metri nello stesso punto durante i periodi di piena.

In causa dell'attrito con il fondo del letto e le sue sponde, si ha generalmente la maggior velocità nella parte mediana (*filone*) della corrente, alquanto al di sotto della superficie, in causa della resistenza opposta dall'aria sovrincombente; notiamo infine che la velocità sul fondo è tutt'al più $^2/_3$ della velocità alla superficie.

Portata del fiume si dice la quantità di acqua che attraversa la sezione del letto nell'unità di tempo; oltre alla sua variabilità da punto a punto, si

Fig. 22. — Il bosco della Sprea, tipo di palude boscosa.

deve distinguere una *portata massima*, dei periodi di piena; una *minima* in quelli di magra e quella *media* od *ordinaria*.

La portata varia evidentemente moltissimo da fiume a fiume; così è di 9000 m³ per il Danubio, di 17.000 per il Mississippi, di 1720 in media per il Po, ecc.

I fiumi si possono, sotto questo riguardo, distinguere in *costanti* e *variabili*, secondo che il rapporto fra portata di magra e portata di piena è di 1 a circa 4, oppure molto maggiore. Il Po è, ad esempio, un fiume variabile, essendo questo rapporto di 1 a 24.

CAPITOLO VI.

Il mare ed i suoi movimenti.

Superficie e distribuzione delle masse oceaniche. — Il *mare* occupa circa il 70% della superficie totale del Globo, essendovi tra acqua e terra un rapporto di 1 a 2,5 nell'emisfero boreale e di 1 a 5,5 nell'australe.

Quantunque il mare formi un'unica massa estendentesi fra i continenti, tuttavia si usa generalmente, con criteri geografici, suddividerlo in cinque grandi masse distinte, dette *Oceani*: *Atlantico, Pacifico, Indiano, Artico* ed *Antartico,* ciascuno dei quali dà poi origine a *mari interni,* più o meno estesi, come il *Mediterraneo,* il *Mar Baltico,* il *Mare dei Caraibi,* ecc.

La superficie dei diversi oceani è, tralasciando l'Artico e l'Antartico non ancora completamente noti, rispettivamente di 78.900.000 km² per l'Atlantico, 152.440.000 km² per il Pacifico e 72.250.000 mk² per l'Indiano.

Livello del mare. — Il livello del mare si ritiene ordinariamente uniforme, cosicchè lo si prende come termine di riferimento per le misure barometriche, la determinazione dell'altezza dei rilievi continentali, ecc.; ma in realtà tale livello è molto instabile, variando da mare a mare ed anche in uno stesso mare, a seconda dei punti considerati o di determinate circostanze persistenti o temporanee. Hanno infatti influenza nel modificare il livello del mare i venti, la pressione atmosferica, l'evaporazione, le piogge, le correnti, l'afflusso dei grandi fiumi, la sedimentazione dei materiali portati dai fiumi o strappati alle coste e che vengono accumulati sui fondi marini sollevandone il livello, ecc.

Un fattore che si ritenne già dovesse avere notevole influenza sul livello del mare sarebbe stata l'attrazione esercitata sulle masse oceaniche dai continenti, per cui il livello si sarebbe innalzato presso le coste, abbassandosi invece verso le parti mediane, ove si sarebbero avute depressioni anche di 800 e 1000 metri; così, ad esempio, nell'Atlantico e nell'Indiano.

In realtà, sembra che l'attrazione esercitata dai continenti, pure avendo una certa azione, non sia però così importante, e ciò perchè quest'attrazione dev'essere in gran parte equilibrata da un'azione inversa esercitata dalle masse profonde della crosta terrestre, sottostanti agli oceani, le quali sono da ritenersi più dense che non quelle sottostanti ai continenti (1).

Per quanto la compressibilità dell'acqua sia minima, si deve però notare che, secondo i calcoli di Tait, si avrebbe un abbassamento generale di 35 metri nel livello del mare come conseguenza della compressione delle parti

---

(1) Lo studio del valore della densità terrestre sopra i continenti e sopra i mari tenderebbe a dimostrare che mentre quelli risultano costituiti dal *Sial* (complesso, come si è detto, di roccie silico-alluminifere leggere), il *Sial* stesso al fondo degli oceani sarebbe ridotto ad uno strato sottile, forse neppur continuo, poggiante sul denso *Sima.*

profonde nelle grandi depressioni oceaniche. Per questo fatto circa 5 milioni di chilometri quadrati di terre sono emerse, mentre dovrebbero essere occupate dall'oceano se l'acqua fosse assolutamente incomprensibile.

Profondità oceaniche; morfologia dei fondi marini. — Grazie ai perfezionamenti apportati in questi ultimi tempi ai mezzi di ricerca, con apparecchi di scandaglio molteplici, i quali permettono non soltanto l'esatta determinazione delle profondità, ma anche lo studio della natura del fondo, delle sue condizioni di vita, di temperatura, di pressione, ecc., l'*Oceanografia* ha fatto progressi notevoli ed è diventata una vera scienza. Si hanno così attualmente per molte regioni carte batimetriche si può dire perfette e gli studi relativi continuano alacremente in tutti i mari, anche nelle regioni meno note ed ospitali, come sono quelle polari.

La profondità media degli oceani si può ritenere superiore a m. 3500, il che porta per l'insieme delle acque marine ad un volume di 1500 milioni di chilometri cubi, cioè circa quindici volte maggiore del volume dei continenti emersi e corrispondente a circa $^1/_{700}$ del volume totale della Terra.

La profondità media è di circa 3160 metri per l'Atlantico, 3830 per il Pacifico, 3160 per l'Indiano, mancando ancora dati precisi per l'Artico e l'Antartico; ad ogni modo, le aree oceaniche con profondità superiori a 5000 m. sono poco estese, e si può dire che mancano del tutto negli oceani Artico ed Antartico.

Le profondità massime finora determinate corrispondono all'incirca ai massimi rilievi terrestri e sono: m. 9600 nel Pacifico N., nelle vicinanze dell'Arcipelago delle Marianne; m. 9950 presso le isole Kurili; m. 9400 nel Pacifico S., presso le isole Tonga-Tabu, tra le Fidij e la Nuova Zelanda; m. 8587 nel Pacifico a N E del Giappone; m. 8300 nell'Atlantico a N di Porto Rico; m. 5900 a S O di Giava nell'Oceano Indiano. Il Nansen ha infine dedeterminata la presenza di una fossa di 3500 metri nell'Ocano Polare Artico, che prima si riteneva avesse soltanto una media profondità di 300 m.

È notevole poi che le massime profondità non corrispondono mai ad abbassamenti graduali del fondo dell'oceano, ma si manifestano invece repentinamente con specie di imbuti a versanti ripidi che dànno l'idea di sprofondamenti locali.

Riguardo alla profondità, il Mediterraneo si presenta nettamente diviso in due bacini per mezzo dell'Italia con la Sicilia, Malta e Pantelleria, avendosi infatti tra la Tunisia e la Sicilia un rilievo con media profondità di poco superiore a 300 metri. Nell'occidentale dei due bacini così risultanti si ha una massima profondità di 3600 metri, vicino alla Sardegna, e nell'orientale di 4400 metri a N O di Candia.

Parecchie zone, anche estese, del Mediterraneo oscillano tra 3000 e 4000 metri, ma nel complesso la profondità si mantiene tra 2000 e 3000 metri; la massima profondità misurata nell'Adriatico è di 1645 metri, tra la costa italiana di Bari e l'Albania.

In quanto alla morfologia, gli oceani si possono considerare come depressioni a fondo convesso, essendo concavo soltanto il fondo di alcune fosse

limitate. Allo stesso modo poi che le grandi catene montuose sono sopra i continenti in posizione eccentrica, così pure negli oceani le maggiori depressioni non stanno nella loro parte mediana, ma piuttosto presso le spiagge o in vicinanza di catene d'isole.

Sul fondo del mare si ritrovano infine le stesse accidentalità orografiche esistenti sopra i continenti: pianure, avallamenti, rilievi, ecc. Queste accidentalità non hanno però l'asprezza delle corrispondenti terrestri; ciò per il fatto che sono sottratte all'azione della degradazione meteorica, mentre invece la sedimentazione tende ad attenuarle e livellarle sempre più.

Salsedine marina. — L'acqua del mare è caratterizzata dal gusto salato amaro, conseguenza dei molteplici sali, specialmente cloruro di sodio, che vi stanno disciolti.

È questione però non ancora risolta se la salsedine sia negli oceani un fenomeno iniziale, che accompagnò cioè la loro prima formazione, oppure. se essendo in origine formati da acqua dolce, i sali vi siano stati portati dai fiumi e concentrati a poco a poco dall'evaporazione; così pure è discussa la questione se la salsedine abbia subìto notevoli variazioni nel trascorrere dei tempi geologici. Sembra, dall'esame dei primi rappresentanti della fauna marina, che si possa però ammettere che in origine la salsedine, se pure non mancante, dovesse essere molto minore dell'attuale e diversa, specialmente per la maggior abbondanza di carbonato di calcio.

La salsedine varia da mare a mare ed in uno stesso mare a seconda delle sue zone; ciò in causa di molti fattori, quali l'evaporazione, la precipitazione atmosferica, i venti, le correnti, l'afflusso dei fiumi, ecc. La sua media è di circa 3,4 %, cioè ogni litro contiene circa 34 grammi di sali disciolti; il massimo di salsedine si ha nel Mar Rosso con 4,3 %, mentre diminuisce di molto in certi mari, come il Baltico, il Mar Nero, ecc.

Nel Mediterraneo la media percentuale è di 3,8, con un massimo di 3,9 sulle coste della Tripolitania.

Teoricamente si devono trovare disciolti nelle acque del mare tutti i corpi e composti esistenti alla superficie terrestre, perchè tutti in grado maggiore o minore sono solubili, benchè talora in proporzioni infinitesimali. Praticamente furono finora determinati circa 40 corpi o direttamente mediante l'analisi dell'acqua, o indirettamente per mezzo di certe concentrazioni operate dagli organismi, o altrimenti come sarebbe il caso dell'argento, che si lega al rame sulle armature che ricoprono i bastimenti.

Fra le concentrazioni operate dagli organismi possiamo ricordare quelle di bromo, iodio, boro e di parecchi metalli (zinco, cobalto, nichelio, manganese) nell'alga *Zostera;* di rame, piombo, argento nelle *Pocillopore* (Coralli), ecc., di abbondante silice fissata dalle *Radiolarie, Spugne, Diatomee,* ecc., e di carbonato di calcio fissato dai *Corallari,* dalle *Spugne,* dai *Molluschi,* dai *Foraminiferi,* da certe *Alghe,* ecc.

I sali predominanti nelle acque del mare sono però essenzialmente: cloruro di sodio, cloruro di magnesio, cloruro di potassio, solfato di magnesio,

solfato di calcio, solfato di potassio, bromuro di sodio, bromuro di magnesio, carbonato di calcio, carbonato di ferro, fosfato di calcio, silice, ecc.

Prevalente però in modo assoluto è il cloruro di sodio, che raggiunge le proporzioni di 2,5 a 2,6%, per cui si è calcolato che la quantità totale di questo sale formerebbe alla superficie terrestre, se vi fosse uniformemente distribuito, uno strato di 10 metri, oppure una catena di montagne non inferiore alle Alpi!

Parecchi gas, specialmente quelli dell'atmosfera, si trovano pure disciolti nelle acque del mare, però sempre con notevoli quantità di anidride carbonica, dovuta anche a fenomeni vulcanici ed alla decomposizione delle sostanze organiche. Nell'Atlantico, su 100 parti di gas disciolte ne furono determinate 25 di ossigeno e 21 di anidride carbonica; nel Mediterraneo 19,5 di ossigeno, 21 di anidride carbonica, la quale aumenterebbe ancora con la profondità, avendosi così 5 di ossigeno e 60 di anidride carbonica a 3000-3600 metri.

Densità dell'acqua del mare. — È chiaro che la presenza dei sali nell'acqua del mare debba influire sulla sua densità, rendendola maggiore e facendola variare da regione a regione.

Essendo = 1000 la densità dell'acqua distillata, si ha così 1014 per il Mar Nero, 1015 per il Baltico, 1018-1026 per l'Atlantico, con un massimo di 1028-1030 per il Mar Rosso. In generale poi si verifica che la salsedine diminuisce nelle regioni equatoriali, in causa delle grandi precipitazioni, mentre aumenta nella regione dei venti alisei; essa aumenta pure sensibilmente con la profondità e sembra aumentare pure nelle regioni polari per la diminuita precipitazione.

Prendendo per media salinità la cifra prima indicata di 3,4%, si avrebbe come densità media dell'acqua del mare 1,0275.

Infine, dobbiamo ricordare come un'altra conseguenza della salsedine delle acque marine sia l'abbassamento del punto di congelamento delle acque stesse, che può essere portato a 2° o 3° anche sotto zero.

Temperatura delle acque del mare. — Le condizioni di temperatura, specialmente nelle zone profonde, sono affatto differenti a seconda che si considerano gli oceani od i mari chiusi.

Negli oceani (con fenomeno comune a tutti i mari) le variazioni superficiali di temperatura sono in diretto rapporto con la qualità di calore solare ricevuta; quindi tale temperatura varia da mare a mare non solo, ma da regione a regione, a seconda delle varie stagioni e delle altre condizioni climateriche.

Il calore solare assorbito alla superficie, propagandosi negli strati sottostanti, è quello che riscalda la massa acquea; però la propagazione è così lenta che alla profondità media di 50 metri non si possono, si può dire, più osservare oscillazioni, arrivandosi così gradatamente ad una zona, ove la temperatura è costante e corrispondente a quella superficiale del mese più freddo. Lo strato che si risente delle variazioni esterne ha potenza variabile; di 110 a 150 metri nell'Atlantico, di 150 a 360 metri nel Pacifico.

In seguito la temperatura diminuisce rapidamente fino a quella di 4°, che si incontra tra 700 e 1100 metri, a seconda dei luoghi; ulteriormente la diminuzione continua, ma diventa molto lenta. A circa 2000 metri si incontra una temperatura di circa 0° a 2° nelle zone calde, e —2° a —3° in quelle fredde, temperatura che si mantiene costante fino al fondo.

Questo abbassamento di temperatura è dovuto al lento mescolarsi, per opera di correnti profonde, delle acque polari fredde con le equatoriali calde, essendo il fenomeno specialmente evidente nell'emisfero sud, ove le comunicazioni sono poco interrotte da rilievi sottomarini o continenti.

Nei mari chiusi si incontra nuovamente la zona superficiale a temperatura variabile, poi lo strato a temperatura costante corrispondente alla media invernale o alla temperatura dell'ultimo strato oceanico, comunicante con il mare chiuso. La temperatura dello strato costante si mantiene in seguito invariata fino al fondo, ove può semplicemente verificarsi un leggero innalzamento, causato dal grado geotermico.

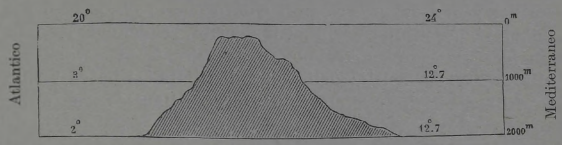

Fig. 23. — Temperature dell'Oceano Atlantico e del Mediterraneo presso lo stretto di Gibilterra (Kayser).

Il fenomeno si osserva nel Mar Rosso e nel Mediterraneo, ove la zona superiore, a temperatura variabile, oscilla fra 180 e 850 metri, avendosi al di sotto una temperatura si può dire uniforme di 13° (fig. 23).

Si capisce che debbono essere tali le condizioni di temperatura tenendo conto che non avviene, come negli oceani, la mescolanza con le acque polari, mescolanza impedita, ad esempio nel Mediterraneo, dal rilievo che lo separa dall'Atlantico e che nello stretto di Gibilterra si trova a meno di 200 metri dalla superficie.

Trasparenza e colore delle acque del mare. — La *trasparenza* dell'acqua marina è grande, molto superiore a quella dell'acqua dolce, per cui il fenomeno sembrerebbe esser collegato con la salsedine.

Se il mare è calmo ed il cielo limpido aumenta la trasparenza, specialmente nelle regioni di grandi profondità e poste ad una certa lontananza dai continenti; così nel Mare dei Sargassi un oggetto si può scorgere fino alla profondità di circa 70 metri e fin di oltre 100 metri nel Mediterraneo. Influiscono però anche evidentemente, oltre alle dimensioni dell'oggetto osservato, il suo colore la presenza nell'acqua di particelle minerali od organiche, le quali tendono a diminuire la trasparenza.

Abbassandosi nel mare, l'intensità della luce diminuisce rapidamente, cosicchè a 30 metri di profondità un palombaro riesce difficilmente a distinguere un ostacolo posto a 7-8 metri di distanza. Mediante esperienze isti-

tuite con lastre fotografiche si è constatato che a 400 m. di profondità cessa in modo assoluto la luce, non essendo più la lastra menomamente impressionata.

Questa mancanza di luce oltre i 400 metri ha, come si capisce facilmente, una grande importanza sulla distribuzione degli organismi vegetali, la cui vita, per la funzione clorofilliana, è intimamente collegata con la luce.

Il *colore* dell'acqua del mare vista in massa è l'azzurro; ciò in conseguenza del fatto che, dei raggi luminosi, sono gli azzurri che sono meno assorbiti. Ciò spiega, ad esempio, il fenomeno della Grotta Azzurra di Capri, la quale è illuminata esclusivamente dai raggi azzurri penetranti attraverso all'acqua, che ne chiude l'apertura.

Il colore può essere però modificato dalla presenza di particelle in sospensione, le quali, introducendo un elemento per lo più di color giallo, dànno come risultante una tinta più o meno verde, in causa della mescolanza del giallo all'azzurro. Altri molteplici fattori influiscono del pari sulla colorazione dell'acqua marina, come la profondità, lo stato del cielo, la natura del fondo coperto di sedimenti oppure da alghe, ecc.

Il colore può anche essere modificato localmente da cause accidentali; così il Mar Rosso deve la sua tinta leggermente rossigna al *Trichodesma erithraeum*, alga minutissima, i cui individui vivono a miriadi alla superficie; il Mar Giallo al limo abbondante portato dalle acque del Fiume Giallo (*Hoang-Ho*), e di altri fiumi della Cina, dopo che hanno attraversato la regione del *loess*, ecc.

Ricordiamo infine come si può osservare sovente alla superficie del mare una *fosforescenza* più o meno intensa e di colore variabile (bianco, azzurro, rosso, ecc.), dovuta alla presenza di organismi (per lo più microscopici), dotati appunto di fosforescenza. Il fenomeno è, ad esempio, di un'intensità singolare nell'Oceano Indiano e nel Mar Rosso, ove, nelle notti tranquille, la scia dei bastimenti rassomiglia sovente ad una vera pioggia di fuoco.

Anche molti organismi viventi negli abissi oceanici presentano una fosforescenza, talora molto intensa, localizzata in certi organi o diffusa a tutto il corpo.

Pressione nelle profondità marine. — Si può ritenere, astraendo dalla influenza della salsedine, che la pressione sia di un'atmosfera per ogni 10 metri di profondità; però, in causa della compressibilità dell'acqua marina, alla quale già si è accennato, il peso specifico deve aumentare con la profondità, per cui anche la pressione deve aumentare sensibilmente. Nelle grandi profondità si hanno così delle pressioni che raggiungono la cifra enorme di 700-800 e fin 900 atmosfere, pressioni alle quali tutte le roccie si può dire che diventano permeabili. È questo un fatto che non manca di avere importanza nei fenomeni geologici.

Movimenti del mare. — I movimenti presentati dalle acque del mare sono essenzialmente di due tipi.

Nell'uno (che è quello delle *onde* e delle *maree*) si tratta di un movi-

mento ritmico senza spostamento reale, ciascuna molecola ritornando nella sua posizione primitiva dopo cessata l'azione perturbatrice; nell'altro invece (*correnti*) si ha vero spostamento di masse acquee da un punto all'altro.

1° Onde. — Le onde consistono in un movimento ondulatorio in senso verticale, senza, o quasi, spostamento orizzontale; queste oscillazioni, la cui intensità varia da un leggero increspamento alle onde altissime di tempesta, sono dovute all'azione del vento, quando questo soffia con una certa inclinazione sulla superficie dell'acqua.

Questa essendo molto mobile, viene sollevata con un movimento oscillatorio, il quale si propaga nella direzione del vento alle masse acquee vicine, senza che vi sia un vero movimento di traslazione. Infatti, un galleggiante (così una barca) in balìa delle onde si solleva e si abbassa alternativamente, ma non progredisce in senso orizzontale.

La cresta dell'onda, però, essendo animata da un movimento più rapido che non la sua base, tende a precipitare in avanti, spumeggiando; il fenomeno si può osservare in alto mare, ma è ancor più evidente presso le coste, ove, per l'attrito con il fondo, la base dell'onda viene ritardata, mentre la parte terminale, non ritardata, cade all'avanti. Il sopravvenire di una nuova onda sopra la prima ritardata, può trasformare parzialmente in movimento di traslazione quello che era dapprima verticale; quando l'onda poi si infrange sugli ostacoli di un littorale dirupato allora può anche sollevarsi (fig. 24) a grandi altezze ed avere un'azione meccanica potente come si avrà occasione di indicare nella Dinamica.

Il movimento ondoso è in diretta relazione con la forza del vento, la sua costanza in una determinata direzione, l'obliquità con cui soffia, come anche con la profondità e l'ampiezza del mare, la salsedine delle acque, ecc.

L'*altezza* delle onde è quindi molto variabile; la massima altezza raggiunta sembra non oltrepassare i 7 metri, non essendo superiore a 5 metri nel Mediterraneo; le altezze di 15-20 metri, indicate come osservate nei mari australi, non furono però accertate con sicurezza.

Si dice *lunghezza dell'onda* la distanza che intercede fra le creste di due onde consecutive; essa è direttamente proporzionale all'altezza e può arrivare a 500 metri.

La profondità, poi, fino alla quale si fa sentire l'azione dell'onda, è teoricamente, per le massime, di 700 metri; nella pratica però le onde hanno difficilmente un'azione sensibile al di sotto di 50 metri.

I fattori sopra indicati come aventi influenza sulla formazione delle onde influiscono pure sulla loro velocità, che è molto variabile, potendo arrivare a 70 e fin 100 chilometri all'ora.

2° Maree. — La marea consiste in sollevamenti (*alta marea* o *flusso*) ed abbassamenti (*bassa marea* o *riflusso*) del livello del mare, alternati a 6 ore d'intervallo, e che si risolvono in un movimento ondoso, la cui azione si fa sentire sino in fondo all'oceano. In alto mare l'onda di marea è poco sensibile, ma la si può osservare bene sulle coste (in particolare se poco accidentate) od alla foce dei fiumi dotati di un estuario, cioè di un'apertura ampia e libera.

La marea, come già era stato riconosciuto dagli antichi, è dovuta alla attrazione esercitata dalla Luna sulla Terra, attrazione che si fa sentire specialmente sulle masse acquee in causa della mobilità delle loro molecole. Ne consegue che in un punto della superficie terrestre esse subiscono, quando la Luna è più vicina, un sollevamento, che si verifica pure contemporaneamente nel punto diametralmente opposto al primo considerato, perchè quivi l'attrazione lunare tende a diminuire l'azione della gravità e la forza centrifuga si può quindi far sentire maggiormente.

L'onda risultante dal sollevamento dovuto all'attrazione lunare si propaga nel senso apparente del movimento della Luna, cioè da E a O; e poichè

Fig. 24. — Onde di rifrangimento contro una costa dirupata.

la Terra contemporaneamente gira sul suo asse, tutti i suoi punti saranno successivamente rivolti verso la Luna ed in ciascuno la marea si manifesterà due volte durante il giorno.

Il fenomeno si ripeterà evidentemente ogni giorno, ma non però sempre alla stessa ora, avendosi un ritardo quotidiano dovuto al fatto che il giorno solare non ha lunghezza uguale a quello lunare, che è di 24 ore e 50 minuti. Anche il Sole esercita un'azione attrattiva sulla Terra e quindi specialmente sulle masse oceaniche, ma, data la sua distanza, l'effetto risultante è appena $^1/_3$ di quello della Luna.

Tuttavia anche l'attrazione solare acquista importanza nel fenomeno della marea; infatti ad ogni 15 giorni, nelle *sigizie*, quando cioè Terra, Luna

e Sole si trovano sopra una stessa linea, le due azioni attrattive, solare e lunare, si sommano in un punto, oppure esercitano la loro massima attrazione su punti diametralmente opposti. Il risultato è lo stesso nei due casi, cioè provoca un massimo di marea, che si avrà quindi nella *congiunzione* (Luna nuova), cioè quando la Luna è interposta tra il Sole e la Terra, e nell'*opposizione* (plenilunio), interposizione della Terra tra il Sole e la Luna. Il massimo poi delle maree di sigizie si hanno al momento degli equinozi.

Nelle *quadrature* (primo ed ultimo quarto della Luna) il fenomeno della marea è minimo, perchè l'attrazione esercitata in un punto è la risultante delle attrazioni lunare e solare, che si manifestano normalmente l'una all'altra.

Se la Terra fosse completamente rivestita dall'oceano, il fenomeno sarebbe regolare e si è calcolato che l'altezza della marea dovrebbe essere di 806 millimetri nelle sigizie e di 207 nelle quadrature. In realtà il valore è molto diverso, perchè la propagazione dell'onda di marea viene ritardata, e quindi la sua altezza aumentata, dalle variazioni di profondità, dalla maggior o minor salsedine, dall'ostacolo alla progressione opposto dai continenti, dalle irregolarità delle loro coste, ecc. L'altezza massima si ha conseguentemente tra le isole, negli stretti, nei golfi e nelle baie; è così di 14-15 metri nella baia del Mont Saint-Michel sulle coste della Normandia; di 16-18 metri nel golfo di California, ecc. Nella baia di Fundy (Nuova Scozia) si ha un tipico esempio dell'influenza della conformazione delle coste, poichè all'ingresso della baia la marea non raggiunge 3 m., mentre nella parte più interna, a 60 chilometri di distanza, può sorpassare 21 metri.

Diminuisce invece sempre più allontanandosi dai continenti, essendo così poco più di 1 metro nelle isole dell'Atlantico (per es. Sant'Elena), di appena 30-50 centimetri alle isole Hawaï, ecc. L'altezza dell'onda di marea è poco sensibile nel Mediterraneo, ove il suo massimo non raggiunge 2 metri, avendosi mm. 139 a Genova, 225 a Napoli, 476 a Venezia, 532 a Trieste, ecc.

In causa delle accidentalità delle coste e del fondo, la marea si manifesta in ogni punto sempre con un ritardo più o meno grande tra il momento del passaggio della Luna al meridiano e l'ora dell'alta marea; nei porti si determina esattamente questo ritardo (anche di oltre due ore), che costituisce la cosidetta *ora di porto,* importante a conoscersi per i bisogni della navigazione.

Con il nome di *isorachie* o *linee cotidali* si indicano le linee che congiungono i punti ove si manifesta contemporaneamente l'alta marea.

Alla foce dei fiumi dotati di estuario, dove l'acqua ha una certa velocità e si ha poca profondità, l'onda di marea, penetrando in senso opposto alla corrente fluviale, origina per il suo contrasto con questa un'alta onda che può avanzarsi lungo il corso del fiume fino a notevoli distanze. Il fenomeno, che si manifesta specialmente all'epoca delle grandi maree, è conosciuto alla foce della Senna con il nome di *mascaret;* quivi l'onda può raggiungere una velocità di circa 500 metri al minuto. Fortissimo è pure il fenomeno

nel Rio delle Amazzoni, ove si forma un'onda (detta *pororoca*, cioè *distruggitrice*) alta fin 9 metri e che si spinge fino ad oltre 100 chilometri; nel Gange, ove è detta *bore;* nel Tsing-Tang, ecc.

3° Correnti marine. — Le *correnti marine* costituiscono una vera circolazione, quasi di grandi fiumi in seno alla massa oceanica, con direzione e velocità variabilissime; esse si stabiliscono sia alla superficie che in profondità, essendo perfettamente indipendenti nei diversi oceani.

Si possono distinguere quindi *correnti profonde* e *correnti superficiali.*

Le *correnti profonde* sono ancora poco conosciute; esse sono però rese manifeste dalla distribuzione della temperatura e dalla densità dell'acqua. Devono essere straordinariamente potenti, ma sono del pari straordinariamente lente; in esse è tutta la massa delle acque polari che, per cause molteplici, si sposta verso le regioni equatoriali, portando alle condizioni di temperatura sui fondi degli oceani, alle quali si è accennato a suo tempo.

Le *correnti superficiali* possono far sentire la loro azione fino a 500 e più metri di profondità ed hanno velocità che può essere relativamente grande; dipendono da cause complesse ed ancora non del tutto conosciute. Devono però avere grande importanza nella loro formazione il regime dei venti regolari; la rotazione terrestre; le differenze di temperatura, di salsedine, di densità; la configurazione del fondo; la conformazizone dei littorali, ecc.

Le correnti superficiali, se non sono ben note nella loro origine, sono però ben studiate nelle loro direzioni e loro condizioni fisico-chimiche per i vari oceani, in ciascuno dei quali si ritrova un tipo abbastanza costante di circolazione.

Così nell'Atlantico si hanno due *correnti equatoriali,* che si possono ritenere dovute essenzialmente agli alisei ed alla rotazione terrestre, l'una *meridionale* e l'altra *settentrionale,* dirette dapprima da NE a SO, ma in seguito nettamente da E a O; queste due correnti sono divise da una controcorrente, detta *corrente di Guinea,* però poco regolare, essendo disturbata dalla vicinanza dei continenti.

La corrente equatoriale meridionale, arrivando alle coste brasiliane, presso il capo San Roque, si divide in due rami. Il ramo sud, *corrente del Brasile,* scende lungo le coste americane e si ripiega poi verso l'Africa, formando con la *corrente di Benguela*, che segue le coste dell'Africa, sud-occidentale, un circuito chiuso, ove il mare è calmo e dove vengono ad accumularsi detriti, fra cui numerose alghe, trascinati dalla corrente circolare.

Il ramo nord, risalendo le coste delle Guiane, non tarda a raggiungere la corrente equatoriale settentrionale (che ha velocità di circa 1 chilometro all'ora) e a confondersi con essa. Questa nuova corrente, giunta presso le Antille, si divide in due rami: uno (*corrente delle Antille*) passa vicino a Cuba, dirigendosi verso lo stretto della Florida; l'altro penetra nel golfo del Messico (*corrente dei Caraibi*) e lo contornia, riscaldandosi fortemente in questo viaggio fin a raggiungere la temperatura di 30° e venendo anch'esso a finire al canale della Florida, ove mescola le sue acque con quelle della corrente

delle Antille. Si origina così la *corrente della Florida*, che all'uscita del canale costituisce poi la nota *corrente del Golfo* o *Gulf Stream*.

All'uscita del Golfo del Messico, il Gulf Stream ha una media velocità di 5 $^1/_2$ chilometri all'ora, potendo raggiungere un massimo di 10 chilometri; nel canale della Florida ha circa 90 chilometri di larghezza, che diventano 200 chilometri all'altezza del Capo Hattaras, con una potenza di circa 800 metri. La sua portata media fu calcolata da Maury come 3000 volte superiore a quella del Mississippi.

Si distingue nettamente dal mar circostante per la tinta azzurra più cupa delle sue acque (che contengono un numero straordinariamente grande di organismi), per il livello sensibilmente maggiore e per la temperatura superiore di circa 7°. Per la corrente del Golfo si verifica, come nei fiumi, che la velocità massima è nella parte mediana poco al disotto della superficie.

Il Gulf Stream risale lungo le coste degli Stati Uniti fino al Banco di Terranuova, ove la sua velocità è ridotta a meno di 4 chilometri all'ora, ma la sua larghezza molto aumentata; quivi, per l'incontro della fredda *corrente del Labrador* che scende dal nord, piega ad est, verso l'Europa, dividendosi in due rami. Uno prende direzione est, piegando poi a sud, e scende lungo le coste della Francia e della Spagna per formare la *corrente delle Canarie*, la quale viene poi a congiungersi con la corrente equatoriale nord, chiudendo così un grande circuito di mare calmo, della superficie di circa 4 milioni di km². È questo il *Mare dei Sargassi*, che deve il nome alla straordinaria abbondanza di tali alghe, strappate alle coste americane e trasportate ed accumulate dalla corrente.

Il ramo nord della corrente del Golfo si divide alla sua volta in rami secondari:

Uno penetra nella Manica e nel Mar del Nord, ma si perde rapidamente.

Un altro si dirige verso l'Islanda, che costeggia ad ovest con una velocità di appena 5 chilometri al giorno, perdendosi poi nella *corrente della Groenlandia*, che scende lungo le coste orientali della Groenlandia. Questo ramo è però importante, perchè costituisce, in primavera, la zona migliore per la pesca dei merluzzi.

Un ultimo ramo, il più importante, risale verso le coste della Norvegia e al nord di questa manda un ramo (*corrente del Capo Nord*) che gira appunto in direzione est attorno al Capo Nord; un altro si dirige verso le coste ovest dello Spitzberg, mentre rami minori penetrano nel Mare di Barents, arrivando fino alla Nuova Zembla. Tutte queste correnti, che hanno velocità minima, di 1 a 12 chilometri nelle 24 ore, andando verso il nord si raffreddano e tendono ad abbassarsi, provocando una circolazione verticale.

Condizioni analoghe a quelle dell'Atlantico si ritrovano negli altri due grandi oceani.

Così nel Pacifico si hanno le due *correnti equatoriali* separate da una regolare *controcorrente*. La corrente equatoriale nord, con la *corrente di Kuro-Sivo* (sulle coste del Giappone) e la *corrente della California*, chiude un immenso circuito di calme; lo stesso succede per l'equatoriale sud con la *corrente del Perù* e la *corrente dell'Australia orientale*.

Nell'Oceano Indiano la *corrente equatoriale nord* è disturbata dal regime dei Monsoni; ma vi è una netta *controcorrente equatoriale,* come pure una ampia *corrente equatoriale sud* che chiude nuovamente una zona di calma con la *corrente dell'Australia occidentale,* la *grande corrente antartica,* la *corrente di Agulhas,* sulle coste sud-orientali dell'Africa, e la *corrente di Madagascar.*

Nel Mediterraneo le correnti sono rare e deboli; una entra dall'Atlantico per lo stretto di Gibilterra ed è costante, raggiungendo nella parte cen-

Fig. 25. — Legname fluitato nello Spitzbergen.

trale dello stretto ad una velocità di persino 9 chilometri all'ora. Tale corrente poi si sdoppia mandando un ramo lungo le coste della Spagna ed un altro su quelle africane che si spinge fin all'Asia Minore.

Un'altra corrente esce dal Mar Nero dirigendosi verso il Mediterraneo; nell'Adriatico una corrente risale le coste orientali, mentre un'altra discende lungo le coste italiane, girando poi intorno alla penisola per arrivare alle coste della Francia. Sono però tutte correnti poco intense.

Il Mar di Marmara si comporta rispetto al Mar Nero come il Mediterraneo rispetto all'Atlantico; vi è cioè una corrente inferiore che va dal primo al secondo, mentre una corrente inversa esiste superficialmente.

Gli *effetti delle correnti* sono molteplici, avendo anzitutto grande influenza sulle condizioni climateriche, essendo sorgente di calore, causa di nebbie, piogge, ecc.; è nota la benefica influenza, ad esempio, del Gulf Stream sulle regioni costiere dell'Europa occidentale.

Le correnti hanno, inoltre, influenza nella distribuzione della salsedine e della temperatura nelle masse oceaniche; favoriscono lo sviluppo di molte forme animali marine, contribuendo pure alla loro disseminazione, con un trasporto sovente involontario. Detriti di varia specie, semi, frutti, legnami possono esser fluitati anche a grandi distanze (1); ricordiamo infatti gli abbondanti legnami portati dalla corrente del Golfo alle isole Faroer, alle coste dell'Islanda e su quelle settentrionali della Scandinavia (fig. 25), nei quali paesi vengono raccolti dagli abitanti per la fabbricazione delle abitazioni, mentre semi di piante americane sono trasportati fin in Islanda, al Capo Nord e nella Groenlandia meridionale.

Neppure va dimenticata l'azione delle correnti nel favorire o ritardare la navigazione, specialmente a vela.

CAPITOLO VII.

Biogeografia.

Si dice *Biogeografia* la parte della Geografia fisica che studia la distribuzione degli esseri viventi alla superficie del Globo, dividendosi in *Fitogeografia* (distribuzione delle piante), *Zoogeografia* (distribuzione degli animali) e *Antropogeografia*, studio delle razze umane e loro distribuzione.

a) Fitogeografia.

Notiamo anzitutto che ogni specie, sia animale che vegetale, è dotata di un potere di espansione più o meno grande ed è quindi sovente difficile il fissare esattamente i limiti della sua distribuzione; si può però sempre stabilire una *zona limite*, nei confini della quale la specie lotta più o meno intensamente per la sua esistenza e dove essa subisce gli adattamenti i più svariati, che valgono sovente a spiegare profonde anomalie. Per ogni specie poi vi è un'*area di sviluppo ottimo*, ove trova le condizioni di ambiente più favorevoli alla sua esistenza, ed un'altra, più vasta, ma meno favorevole, detta *zona contestata*.

Ecologia. — Lo studio dell'*habitat*, cioè dell'area in corrispondenza della quale si verificano le condizioni fisiche che permettono lo sviluppo di una specie, ha ricevuto dai Botanici il nome di *Ecologia* ed è molto importante, poichè è fuori dubbio che le condizioni fisiche esercitano una gran-

(1) Notiamo a questo proposito come prima ancora della scoperta dell'America gli abitanti della Scozia e della Norvegia raccoglievano sulle loro coste frutti duri e semi esotici di origine ignota; così raccoglievano una specie di noce che cresce alle Antille e che chiamavano *fava delle Molucche*.

dissima influenza e sono quindi un fattore importante nella *lotta per l'esistenza,* che è nel medesimo tempo una *lotta per lo spazio.*

Non esistono piante aventi una ubiquità assoluta, cioè sparse su tutta la superficie del Globo, poichè questa è divisa in terre e mari e l'*habitat* acquatico ed il continentale corrispondono ad un insieme di condizioni fisiche talmente differenti che si escludono reciprocamente. Vi è infatti per le piante incompatibilità perfetta tra l'*habitat* acquatico ed il terrestre non solo, ma anche tra il mezzo ambiente di acqua dolce e quello marino. In generale si osserva che il cambiamento di questo mezzo conduce alla distruzione o ad una trasformazione completa dei caratteri, dei generi e delle specie.

I fattori della ripartizione delle piante. — I principali sono: la *temperatura,* la *luce,* l'*umidità,* il *vento,* gli *animali* e l'*uomo;* questi tre ultimi specialmente importanti, direttamente o indirettamente, per la impollinazione e la disseminazione delle piante.

Temperatura. — Essa costituisce un fattore d'importanza grandissima, tanto che si sono potute stabilire le *regioni floristiche* in relazione con le regioni di calore.

La temperatura influisce sopra ogni genere e, si può dire, sopra ogni specie, poichè per ciascuna di esse si ha un *minimo* ed un *massimo,* fra i quali limiti si svolge la vita della pianta, con un *ottimo,* che rappresenta le condizioni termiche le più opportune per lo sviluppo delle sue funzioni vitali per ciascuna delle quali, in particolare, si ha pure un massimo, un minimo ed un ottimo; così per germinazione, per la fogliazione, per la fioritura, la fruttificazione, ecc.

A seconda delle loro esigenze termiche, le piante si dividono in *megaterme,* quando il loro sviluppo richiede una temperatura superiore a 20°; *mesoterme,* quando richiede circa 15°; *microterme,* quando si sviluppano tra 0° e 15° ed *echistoterme,* se al di sotto di 0°.

Le piante microterme e le mesoterme arrestano le loro funzioni e sopprimono certi loro organi durante i periodi di freddo; del resto tutte le piante alternano una fase vegetativa con una fase di riposo, il cui momento è in rapporto con le condizioni climatiche, verificandosi tale riposo nel tempo meno propizio alla vegetazione. Esso coincide nelle regioni fredde e temperate coll'inverno, nelle tropicali asciutte invece colla stagione secca; in queste regioni, per esempio, molte specie presentano durante la siccità la caduta delle foglie. Qualche cosa di consimile si verifica già nella regione mediterranea, ove si osserva, in generale, una fioritura invernale ed un periodo di riposo nei mesi estivi.

Luce. — La luce nella vita vegetale costituisce un fattore indispensabile unitamente alla temperatura, da cui non si può separare; infatti è noto che sotto l'influenza combinata della luce e del calore si compiono la funzione clorofilliana e l'assimilazione dei sali minerali, costituenti la base della nutrizione delle piante.

Anche per l'azione della luce vi deve essere un minimo, un massimo ed

un ottimo, il quale però è difficile a definirsi, poichè esso varia non soltanto da pianta a pianta, ma ancora secondo le differenti fasi della vita vegetale; così la luce intensa ritarda lo sviluppo degli organi vegetativi, mentre i fenomeni riproduttivi sono favoriti dalla luminosità.

Umidità. — L'acqua è indispensabile assolutamente ai vegetali: per la preparazione delle soluzioni minerali del terreno, che formano la linfa greggia assorbita dalle radici; per la sua ascesa fino alle foglie; per la sua trasformazione entro queste in linfa elaborata e per la sua circolazione nei diversi tessuti, ove essa è assimilata, ecc.

Ora ad ovviare alla mancanza di umidità in certe stagioni, in cui l'apporto d'acqua è scarso od irregolare, intervengono molteplici disposizioni organiche, l'attuazione delle quali si verifica nelle piante dette *xerofite*, cioè adattate a vivere in ambienti secchi, come *Leontopodium alpinum*, *Calluna vulgaris*, ecc. Tali speciali disposizioni possono esser intese sia a regolare la traspirazione; sia ad aumentare l'assorbimento, sviluppando particolari meccanismi; sia a conservare l'acqua ricevuta per mezzo di tessuti acquiferi, ecc.

Alla categoria delle xerofite può esser contrapposta quella delle *igrofite* (*Drosera rotundifolia*, *Juncus effusus*, ecc.) adattate agli ambienti particolarmente umidi, mentre con il nome di *mesofite* (*Viola odorata*, *Ranunculus bulbosus*, ecc.) gli Ecologi indicano le piante le quali, senza esser provviste di speciali mezzi di difesa contro la siccità nè di particolare adattamento ad un ambiente umido, assumono tuttavia un buon sviluppo nelle stagioni in cui ad un apporto moderato, ma costante, di acqua si associa una moderata insolazione.

Con il nome di *idrofite* poi si indicano le piante che vivono immerse o sommerse nell'acqua (*Nymphaea alba*, *Typha latifolia*, *Phragmites communis*, ecc.), mentre che con quello speciale di *alofite* si indicano le specie vegetali che stanno in rapporto con cloruri, sia contenuti nel substrato (*salsola soda*), sia sciolti nell'acqua (*sargassum bacciferum*).

Una delle disposizioni migliori per far fronte alla siccità dell'ambiente è la *tropofilia*, per la quale mentre la pianta svolge le funzioni caratteristiche del suo ciclo vitale nella stagione in cui trova favorevoli le condizioni di esistenza, si riduce invece in uno stato di riposo nella stagione avversa; le piante tropofile si comportano quindi alternativamente come xerofite e igrofite. La caduta delle foglie, per esempio, che nei nostri paesi avviene nella stagione fredda, mentre nelle regioni secche e tropicali si verifica nella stagione asciutta, è una disposizione di tropofilia.

Influenza del suolo. Pedologia. — Lo studio dell'influenza del suolo sulla vegetazione ha assunto in questi ultimi anni uno sviluppo grande e si indica dai Botanici col nome di *Pedologia*.

Per *suolo* s'intende lo strato superficiale, mobile, del terreno, nel quale le piante introducono le loro radici e che risulta dalla decomposizione delle formazioni rocciose.

Quando il sottosuolo è mobile (alluvioni recenti, sabbie antiche non

consolidate, ecc.) è difficile distinguerne il suolo, fatta eccezione per ciò che riguarda la maggiore o minore abbondanza dell'*humus*, la cui mancanza più o meno assoluta imprime un carattere xerofilo alla vegetazione.

Le proprietà fisiche del suolo sono essenzialmente la coesione, la permeabilità, la capillarità e la capacità idrica d'assorbimento, proprietà tutte che dipendono dalla grossezza degli elementi costitutivi. Nel riguardo chimico poi si può dire che tutti i suoli contengono gli elementi minerali in quantità sufficienti per lo sviluppo della maggior parte delle piante, e cioè, oltre all'acqua, la potassa, la silice, il ferro, il carbonato di calcio, il fosforo e l'azoto.

Ricerche recenti hanno dimostrato che il cloruro di sodio ed il calcare riescono dannosi alle piante, quando si trovino troppo abbondantemente nel suolo; così se il sale è necessario ai vegetali per la formazione dei tessuti, essi però muoiono quando se ne trovi il 2-3 %; fanno, ben inteso, eccezione le piante alofite. Analogamente il carbonato di calcio deve essere considerato come una sostanza necessaria alle piante quando esista nel terreno in piccola dose: se invece esso ne contiene più del 3 %, alcune specie non possono svilupparsi; tali la vite, il castagno, la felce aquilina, la calluna, ecc.

I Botanici, in vista delle grandi differenze di flora che si osservano nei terreni calcarei ed in quelli silicei, avevano divise le piante in *calcicole* e *silicicole*, o meglio in *calcicole* e *calcifughe;* ricerche più recenti porterebbero a dar importanza non tanto alla composizione chimica del suolo, quanto alla concentrazione delle soluzioni che circolano nel terreno, essendo più forti in generale nei terreni calcarei (*piante alicole*) e più deboli in quelli silicei (*piante gelicole*).

L'*humus* è il risultato della decomposizione degli organismi animali e vegetali; in questa decomposizione si mette in libertà dell'acqua e dell'anidride carbonica e si forma dell'ammoniaca, avendosi così un prodotto ricco in carbonio ed azoto non assimilabile dalle piante, ma contenente ancora resti organici utili alla vegetazione. Elemento caratteristico dell'*humus* è l'acido umico, che dà al terreno la tinta bruno-nerastra; l'*humus* non è assolutamente indispensabile alla vita delle piante, ma ne è piuttosto la conseguenza che la condizione. È anzi utile che ne esista una quantità limitata, poichè esso agisce come un vero veleno quand'è troppo abbondante; il fatto si verifica in particolare nei climi freddi, ove la distruzione dell'*humus* essendo ostacolata, ne risulta l'accumulo di materiali acidi nocivi alla vegetazione. Questo fenomeno spiega la formazione delle *lande* nell'Europa settentrionale.

Nella formazione del suolo influiscono specialmente le variazioni di temperatura, che nei climi freddi favoriscono la disaggregazione meccanica delle rocce con il gelo e disgelo, e nelle regioni calde agevolano la decomposizione chimica; l'umidità poi in tutte le sue fórme contribuisce alla formazione del suolo.

Seguendo il Richthofen il suolo può essere distinto in *alluvionale* o *alluvium*, quando risulta dal trasporto dei prodotti della decomposizione

delle rocce operato dalle acque, ed *eluviale* o *eluvium* se dalla decomposizione in posto delle rocce; a questi si può aggiungere il *colluviale* o *colluvium,* risultato di un trasporto limitato, dovuto specialmente alle acque selvaggie.

Tipi di vegetazione. — Possono fondamentalmente ridursi a due: il *tipo legnoso arboreo* ed il *tipo erbaceo.*

Favorevoli alla vegetazione arborea sono il clima temperato o caldo, l'umidità notevole del suolo, l'aria umida e tranquilla specialmente durante l'inverno; alla vegetazione erbacea sono invece opportuni l'apporto frequente, anche se debole, di acqua nella porzione superficiale del terreno ed una temperatura moderata, non molto variabile.

Le forti deviazioni da queste condizioni climatiche determinano la costituzione di un terzo tipo di vegetazione, cioè il *tipo desertico,* nel quale la vegetazione comparisce sporadica (fig. 26) nei punti in cui per condizioni speciali, concorrono i fattori sufficienti alla vita vegetale.

Modificazioni di questi tipi, in rapporto con particolari condizioni di esistenza, sono costituite dalla vegetazione delle *liane,* delle *epifite,* delle *saprofite* e delle *parassite.*

Le *liane* sono piante aventi radici nel terreno, ma che cercano un punto d'appoggio sopra i vegetali che le circondano, così, nei nostri paesi, il *Convolvulo,* il *Luppolo,* l'*Edera,* ecc.

Le *epifite* crescono sopra altre piante, senza però sottrarre nutrimento ai tessuti dell'ospite; così è di molte *Orchidee.* Nei nostri climi non esiste il vero epifitismo, presentato soltanto da poche specie crittogame corticicole: *Muschi* e *Licheni.*

Le *saprofite* e le *parassite* debbono procacciarsi materiale già elaborato, mancando per lo più di tessuto clorofilliano assimilatore; infatti non presentano colorazione verde e differiscono in ciò, che, mentre le *saprofite* traggono il nutrimento da sostanze in decomposizione (*Funghi*), le *parassite* lo tolgono dai tessuti delle piante che infestano; così l'*Orobanche speciosa* che vive sulla radice delle fave, il *Viscum album,* sui rami dei meli, ecc.

Formazioni. Stazioni ed associazioni. — Per *formazione vegetale* s'intende una comunità di specie caratterizzate da un tipo uniforme e definito di sviluppo, in relazione con i caratteri di suolo e di clima della *stazione* alla quale si sono adattate. Sino a che perciò le condizioni esteriori rimangono del tutto o pressochè immutate, una formazione conserva la sua fisonomia, considerata anche in differenti parti della Terra e malgrado la diversità delle specie costituenti; *e ciò perchè essa è l'espressione biologica di determinate condizioni d'ambiente, indipendentemente dalle variazioni floristiche.*

Per *associazione vegetale* s'intende, in seno alla formazione, *una comunità a composizione floristica definita* e che può essere designata per mezzo delle sue specie caratteristiche. Così, per limitarci ad esempi presi nella vegetazione dei nostri paesi, nella *formazione dei boschi montani a foglie*

caduche distinguiamo una *associazione del castagno* e una del *faggio;* nella *formazione delle piante palustri,* una *associazione della ninfea,* della *cannuccia,* ecc.

Distribuzione dei vegetali alla superficie del Globo. — Si è accennato alla importanza delle condizioni climatiche per la vita vegetale; suolo e clima sono i due fattori essenziali dell'ambiente. Ma mentre il suolo deter-

Fig. 26. — Steppa ad euforbie nella Terra dei Grandi Nama (Africa sud-occidentale).

mina piuttosto le variazioni locali nella distribuzione delle piante, a cause climatiche attuali o pregresse deve attribuirsi nelle sue linee generali la distribuzione dei vegetali alla superficie del Globo.

Noi vediamo infatti con quanta difficoltà avvenga l'acclimatazione delle piante in ambienti diversi dagli originari, e come, in una gran parte dei casi, essa sia possibile soltanto grazie alla protezione che l'uomo offre, per ragioni economiche, ai vegetali importati.

Un quadro della vegetazione terrestre fondato sui criteri climatici si presenta quindi scientificamente giustificato; tale è quello tentato dal Köppen, utilizzando i più moderni lavori di Climatologia.

Il Köppen suddivide i climi per rispetto alla vegetazione (servendosi di termini già da noi spiegati) in:

Climi a temperatura elevata o *megatermi; climi secchi, xerofili; climi temperati caldi* o *mesotermi; climi temperati freddi* o *microtermi* e *climi freddissimi* o *echistotermi.*

Ognuna di queste grandi divisioni, le quali hanno contemporaneamente un valore climatologico, geografico e botanico, comprende riparti minori classificati, come si vedrà, in base alla vegetazione caratteristica.

1° Climi megatermi, delle piante tropicali, ove la vegetazione non subisce arresto per il freddo, ma presenta due periodi di riposo dovuti alla siccità. Comprende:

a) *Clima delle liane,* quasi senza periodo asciutto; ha un minimo annuo di pioggia superiore a 2 metri; la differenza di temperatura fra il mese più caldo ed il più freddo è inferiore a 6°. Corrisponde specialmente ai littorali fino al decimo parallelo, a nord e a sud dell'equatore, nell'India, Ceylon (fig. 27), isole della Sonda, ecc.

È il clima delle fitte *foreste sempreverdi*, con *liane* e *epifite*, ed il cui aspetto non varia con le stagioni; le foreste vi sono caratterizzate da grandi *Palmizi* e da alberi ad ampie foglie liscie e persistenti (*Ficus,* ecc.).

Vi si coltivano il *Sagù,* il *Pepe,* il *Cacao,* la *Vaniglia* ed attualmente il *Riso* ed il *Cotone.*

b) *Clima delle Savane tropicali o del Baobab,* avente due mesi di siccità ed una media annua di pioggia inferiore a 2 metri, mentre la differenza tra il massimo ed il minimo di temperatura mensile raggiunge 12°. Si riscontra nell'interno dei paesi intertropicali: Africa, America, India, Indo-Cina, Filippine, ecc.

La vegetazione vi è interrotta, con miscuglio d'alberi tropicali e di erbe e con foreste che perdono le foglie nella stagione secca. Ne sono piante caratteristiche i *Palmizi* ed il *Baobab* (*Adansonia digitata*).

Vi si coltivano il *Caffè,* la *Dura,* il *Banano,* il *Riso* ed il *Cotone.*

2° Climi secchi o xerofili, che originano i deserti e le steppe; con vegetazione di arbusti spinosi nelle regioni subtropicali e temperate.

Sono climi improprii all'agricoltura, in cui la vegetazione subisce un lungo periodo di riposo, determinato dalla mancanza di pioggia o dal freddo. Comprendono:

a) *Clima della Welwitschia* (*W. mirabilis*) dei deserti littoranei, Sahara, ecc.

b) *Clima del Dattero* o *dei deserti interni,* senza freddo invernale, quasi senza pioggia. La media temperatura annua sorpassa i 20° e vi sono forti differenze fra temperatura diurna e notturna; la vegetazione vi è interrotta e sporadica; la coltivazione impossibile fuori delle oasi.

Comprende il Sahara fino al Sudan (*Phoenix dactylifera, Stipa tenacissima*); l'interno dell'Arabia (*Astragalus Tragacantha*); l'interno dell'Australia (*Eucalyptus*) (fig. 28) e alcune zone dell'America (*Cereus, Cactus, Agave*).

c) *Clima dei deserti interni a forte freddo invernale,* in cui la tem-

Fig. 27. — Bosco d'alto fusto a Ceylon (secondo E. Ransonnet).

peratura del mese più freddo va da +2° a —30°, con un estate breve e caldo; la differenza di temperatura fra il mese più caldo ed il più freddo raggiunge 20° e fin 30°.

Si estende (*clima del Saxaoul*) a nord e ad est del Caspio, alla Siberia meridionale ed alla regione posta a nord dell'altipiano del Tibet; e (*clima delle praterie-steppe,* meno asciutto del precedente) dalle bocche del Danubio alla Cina settentrionale, attraverso ai bacini del Don e del Volga,

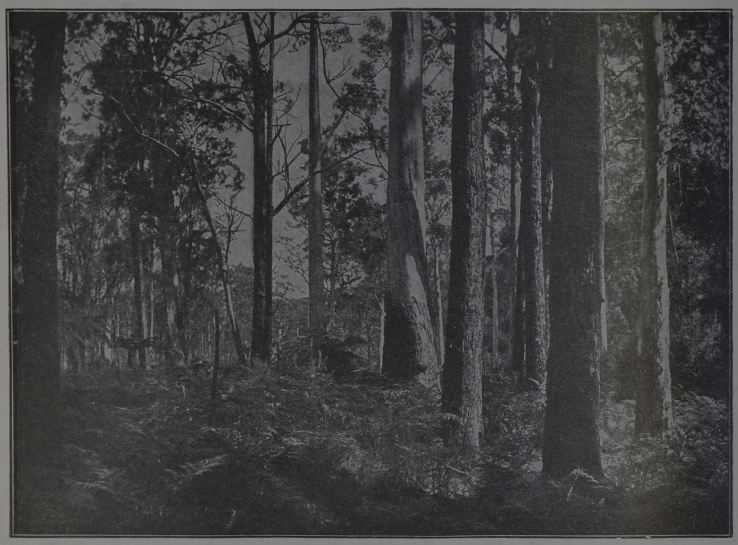

Fig. 28. — Foresta di eucalipti in Australia.

con l'Ural, una parte del bacino dell'Obi e la Mongolia. Lo si riscontra pure nel centro dell'America Settentrionale.

3° Climi mesotermici o temperati caldi, con periodo di freddo ed estate caldo e asciutto; la media temperatura del mese più caldo è superiore a 22°. Comprende:

a) *Clima dell'Ulivo* o *mediterraneo,* con inverni miti e umidi, estati asciutti. Occupa tutte le coste del Mediterraneo e le penisole, ritrovandosi nella California e nella parte sud-occidentale dell'Australia.

È caratterizzato da alberi e arbusti sempreverdi: *Ulivo, Fico, Mandorlo, Pistacchio, Agrumi.*

b) *Clima delle Eriche,* esteso al Capo, all'Australia sud-occidentale ed alle coste del Cile e della California.

c) *Clima della Camelia,* che comprende la Cina meridionale, la Bir-

mania, parte dell'India, la regione a sud del Caspio; la Florida, l'Uruguay ed il Paraguay in America; le zone montuose dell'Australia occidentale. Si estende pure alla regione dei laghi dell'Italia settentrionale.

d) *Clima dei Carya*, che comprende la regione a sud dei grandi laghi dell'America del nord ed i versanti orientale ed occidentale degli Alleghanys; la Cina orientale e settentrionale e parte del bacino dell'Amur.

Fig. 29. — Vegetazione di cacti nella California meridionale.

e) *Clima del Mais*, esteso alle pianure della Rumenia, della Bulgaria e dell'Italia settentrionale; alle zone montuose della Persia ed in generale alle montagne che limitano a sud le steppe del Mar Caspio e del Mare d'Aral.

f) *Clima dei Fuchsia*, con *Felci arboree* e *Podocarpus*, corrisponde alle zone di media altitudine lungo la catena delle Ande tra i tropici; al litorale sud-orientale del Capo e dell'Australia, compresa la Tasmania e parte della Nuova Zelanda; si estende pure alle coste sud-occidentali dell'Europa.

g) *Clima delle alte Savane*, con *Cactacee* o *Euforbiacee* (fig. 29); presenta grande siccità in inverno ed in primavera, mentre si hanno frequenti ed abbondanti piogge durante l'estate. Questo clima si verifica al Messico, ove si spinge fino all'altitudine di 3400 m., e in alcune zone dell'Abissinia.

4° Climi microtermici o temperati freddi, in cui l'estate ha temperatura poco elevata, oscillando fra 10° e 22° nel mese più caldo, mentre è inferiore a 6° in quello più freddo. Il suolo si copre di neve durante l'inverno e si hanno abbondanti piogge nell'estate.

Vi sono caratteristiche le foreste di *Conifere* e di *alberi a foglie caduche;* sono climi favorevoli alla coltivazione del *frumento* ed in generale all'agri-

Fig. 30. — Limite degli alberi nella Siberia settentrionale (secondo Middendorf).

coltura e all'allevamento del bestiame; nelle parti più calde prosperano gli *alberi da frutta*, *la Vite* ed il *Mais*. Comprende:

a) Clima a Quercia dalle foglie caduche, dove si ha una differenza di almeno 10° tra il mese più caldo ed il mese più freddo. Il mese più caldo ha temperatura compresa tra 13° e 22°, mentre nel più freddo oscilla fra +6° e —26°; per quattro mesi dell'anno si ha temperatura superiore a 10°.

È il clima delle pianure dell'Europa occidentale, eccettuate le zone di montagna elevata e la costa dell'Atlantico; della parte meridionale della Scandinavia e della Finlandia; di gran parte del bacino dell'Amur, delle coste settentrionali, della Cina, del nord del Giappone, dei massici montuosi ad est e ovest dell'Imalaia e, nell'America, della regione dei Grandi Laghi.

b) *Clima della Betulla,* in cui si ha una differenza di almeno 10° tra il mese più caldo ed il più freddo, ma con appena un periodo di 1 a 4 mesi in cui la media temperatura è superiore a 10°; l'estate vi è quindi breve e l'inverno rigoroso.

Vi sono ancora foreste di *Conifere* con *Betula,* oltre a *Sorbus, Populus* e *Alnus;* la raccolta dei Cereali si fa in estate, mentre l'*orzo,* l'*avena* e la *patata* sono coltivati fino al limite degli alberi.

Fig. 31. — Tundra a licheni della Siberia settentrionale.

Comprende la massima parte della Scandinavia (eccetto le zone montuose); la Finlandia; la Russia a nord di una linea che da Pietrogrado va alla punta meridionale dell'Ural; la Siberia settentrionale (fig. 30) fino alle sponde del Pacifico e gran parte del Canadà.

5° Climi echistotermi o freddi, con temperatura media inferiore a 10° nel mese più caldo; non vi è più possibile la vegetazione arborea.

Comprende le tundre artiche (fig. 31), le regioni antartiche, l'altipiano del Pamir, la zona superiore delle Alpi ed infine le regioni polari, ove la vita vegetale diventa pressochè impossibile.

Vegetazione oceanica. — Data la grande uniformità d'ambiente e la consecutiva ampiezza delle aree di distribuzione delle specie marine (in

gran parte *Alghe*), la vegetazione oceanica può esser divisa in tre grandi dominii: *boreale, tropicale* ed *australe*. In ciascuno di questi dominii possono poi essere distinti parecchi distretti sufficientemente caratterizzati da un certo numero di specie proprie.

Il *dominio boreale* si estende in Europa dall'estremo nord fino alle coste dell'Irlanda, della Francia e della Spagna, e sul versante atlantico dell'America fino al 41° parallelo. Esso è caratterizzato dai generi *Laminaria, Agarum, Fucus,* ecc.

Il *dominio tropicale* oltrepassa notevolmente i tropici verso nord e verso sud, tanto che il Mediterraneo ne costituisce un distretto.

Lo caratterizzano il grande sviluppo delle Alghe *Floridee* e l'estrema varietà delle specie del genere *Sargassum* (Mare dei Sargassi).

Il *dominio australe* comprende le coste meridionali del Capo, l'Australia, la Nuova Zelanda, l'America del Sud e le isole oceaniche australi. Vi sono tipiche le forme gigantesche di Alghe appartenenti ai generi *Macrocystis, Durvillaea,* ecc.

b) Zoogeografia.

La *Geografia zoologica,* analogamente alla Fitogeografia, ha per oggetto lo studio razionale della distribuzione della vita animale alla superficie del Globo.

Questa parte della Geografia si può dire fondata nel 1835 da Sclater, che per primo propose una divisione degli animali in regioni, divisione che fu poi adottata da Wallace e modificata in seguito da Huxley, da Trouessart, ecc. Essa è quindi ancora ai suoi inizi ed è cosa naturale, se si pensa che lo studio della distribuzione degli animali presenta maggiori difficoltà di quello della distribuzione dei vegetali. Infatti, se è vero che gli uni e gli altri sono sotto lo stesso dominio delle influenze esterne, gli animali nondimeno, per la loro mobilità, le loro migrazioni, il loro più facile adattamento, ecc. rendono tale studio molto più complesso.

Circostanze influenti sulle condizioni di vita e la distribuzione degli animali. — Queste circostanze sono molteplici ed in primo luogo sta la *temperatura,* con la quale è legata la vita di molte specie, per cui vediamo ad esempio che i Rettili non vivono nelle regioni fredde.

La temperatura influisce sulla colorazione (anche con variazioni a seconda delle stagioni), sulla lunghezza del pelo e delle penne e persino sulla statura dell'animale. Si sa infatti che nelle regioni fredde i Mammiferi hanno una folta pelliccia lanosa, mentre nei paesi caldi scompare del tutto il rivestimento lanoso e così pure che nelle regioni montuose parecchi animali diventano bianchi durante l'inverno.

Vi sono animali *ibernanti*, come la marmotta, ecc., che cadono in letargo durante l'inverno; altri che si adattano alla mancanza dell'acqua, come gli animali viventi nei deserti; altri alla mancanza di luce, come gli animali *cavernicoli*, nei quali si atrofizzano gli occhi ed il colore diventa uniforme, mentre si fanno delicati gli organi del tatto e dell'udito.

Il *rilievo del suolo* agisce anzitutto nel modificare il clima alle differenti altezze, come anche impedendo il passaggio e quindi le migrazioni, sia con l'abbassamento della temperatura che con la mancanza di nutrimento; ciò spiega la diversità di fauna tra l'India ed il Tibet separati dall'Imalaia, tra i due versanti delle Ande e, in proporzioni minori, almeno per talune specie, delle Alpi, dei Pirenei e persino dell'Appennino.

Notiamo qui come nelle isole la fauna presenta adattamenti speciali in rapporto con l'area ristretta ed il vento, che potrebbe portare al largo le specie volatrici; così si hanno dimensioni minori per i Mammiferi, atrofia e riduzione delle ali negli Uccelli e negli Insetti, ecc.

La *Vegetazione*, a cui certi animali sono strettamente collegati per l'alimentazione (Baco da Seta, ecc.), influisce colla sua mancanza, che forma vere barriere tra un distretto e l'altro; così il Sahara tra l'Africa settentrionale e la meridionale.

Ha poi influenza sul modo di vita degli animali e conseguentemente sulla forma complessiva od almeno di certi organi, specialmente i locomotori; così sono corridori, saltatori o scavatori gli individui viventi nelle regioni pianeggianti; arboricoli, rampicanti, ecc. nelle foreste.

Il *Mimetismo*, fenomeno nel quale, onde sfuggire ai proprii nemici, molti animali prendono un aspetto (di foglie, rami, fiori, ecc.) o un colore che permettono loro di confondersi con l'ambiente (bianco per gli animali viventi sulla neve, verde per quelli viventi fra l'erba, ecc.). Altri animali privi di mezzi di difesa rassomigliano ad altri che ne sono dotati; così i pesci pseudo-elettrici; i serpenti innocui con aspetto di velenosi, ecc.

Le *migrazioni* volontarie (Uccelli, ecc.) o involontarie (molti Insetti, animali marini, ecc.) hanno contribuito, con maggiore o minor facilità, alla distribuzione geografica degli animali.

Sotto l'aspetto delle migrazioni i Mammiferi, i Rettili, gli Anfibi, ecc. sono in condizioni meno favorevoli che non gli Uccelli, i Pesci, gli Insetti, ecc. poichè l'ambiente aereo e quello acquatico sono quelli che meglio si prestano al passaggio da una regione all'altra.

Ricordiamo infine come l'*uomo* abbia una grande influenza sulla distribuzione degli animali, facendo scomparire molte specie e distribuendo ampiamente altre per i suoi bisogni.

Dominii zoologici. — Come per le piante, esistono per gli animali speciali *dominii*, strettamente collegati con le condizioni mesologiche, e che essenzialmente si riducono a tre: il *dominio continentale*, quello *marino* e quello d'*acqua* dolce, in ciascuno dei quali si hanno poi *associazioni*, molto più complesse di quelle vegetali, dipendenti dalle variazioni dei principali fattori dell'ambiente.

Distribuzione degli animali nel dominio continentale. — Nel dominio continentale, seguendo i criteri di Wallace e Sclater, modificati da Trouessart, si possono distinguere le seguenti sette regioni zoologiche, ciascuna delle quali è alla sua volta suddivisa in sotto-regioni:

1° Regione artica ed antartica, che comprende le terre settentrionali dell'Europa, dell'Asia e dell'America, con bassa temperatura e scarsa vegetazione ridotta, in qualche punto, esclusivamente a Licheni. Vi sono caratteristici la *Renna*, il *Bue muschiato*, l'*Orso bianco*, la *Volpe polare*, l'*Ermellino*, la *Lepre polare*, ecc., oltre a molti *Uccelli acquatici*.

La seconda parte, *antartica*, è finora poco nota e non vi si conosce che fauna marina.

2° Regione paleoartica, estesa dalla Gran Brettagna, ad ovest, fino al Giappone incluso, ad est, e dalle regioni artiche a nord fino al deserto del Sahara, l'Arabia e l'Imalaia, a sud; questa regione, che manca di grandi Mammiferi, comprende:

La *sotto-regione europea*, limitata dai Pirenei, Alpi, Balcani, Caucaso, Uràli e caratterizzata da *Cervidi, Cinghiali, Lupo, Volpe, Lince, Gatto selvatico, Camoscio, Stambecco, Marmotta; da Uccelli Rapaci* (*Falchi, Aquile, Avvoltoi*), *Passeracei* e da pochi *Rettili*.

La *sotto-regione mediterranea*, comprendente il bacino del Mediterraneo con il Sahara e, ad est, si estende fino all'India.

Vi sono caratteristici: *Antilopi, Gazzelle, Cammelli, Leone, Pantera, Jena, Sciacallo*, oltre a *Rettili* numerosi, di cui molti velenosi.

La *sotto-regione siberiana*, comprendente le steppe desertiche estese dal Caspio al Kamtchatka, con animali scavatori, roditori ed insettivori; *Antilopi, Emione, Cammelli*. Pochi *Rettili;* molti *Pesci*, specialmente *Salmonidi*. Nei laghi Aral e Baikal vive una specie di *Foca* analoga a quella dell'Oceano Artico.

La *sotto-regione manciuria*, estesa all'Asia orientale, con *Antilopi, Asino selvatico, Scimmie, Scoiattolo volante, Orsi, Volpe, Lupo, Lince, Pantera, Tigre;* numerosi *Uccelli* (*Fagianidi*); non rari *Rettili*.

3° Regione neoartica, che comprende il Canadà e gli Stati Uniti, con una fauna affine a quella dell'Europa e dell'Asia nella parte settentrionale e forme tropicali nelle parti meridionali; vi sono pure caratteristici molti *Pesci*, specialmente *Salmonidi*. Comprende:

La *sotto-regione canadese* con *Bue muschiato, Alce, Martora, Lontra, Castoro* ed altri animali dalla pregiata pelliccia.

La *sotto-regione alleghaniana*, estesa alla parte orientale degli Stati Uniti, con *Opossum, Cervidi, Sariga, Pappagalli, Serpenti velenosi* (serpente a sonagli, ecc.).

La *sotto-regione centrale*, Montagne Rocciose, con *Buffalo, Cane delle praterie, Orso feroce, Antilocapra* (simile al Camoscio), ecc.

La *sotto-regione californiana*, con fauna ricca in forme tropicali di *Uccelli* (*Colibrì, Pappagalli*, ecc.); molti *Rettili*.

4° Regione etiopica, che comprende tutta l'Africa a sud del Sahara, parte dell'Arabia, Madagascar e le isole vicine. Si può dividere in:

Sotto-regione dell'Africa centro-orientale, molto vasta, con giganteschi *Erbivori: Elefante, Rinoceronte, Ippopotamo, Zebra, Giraffa, Antilopi; Leone, Leopardo, Jena, Scimmie, Struzzo*, ecc.

Sotto-regione occidentale, che comprende le grandi foreste dell'Africa centrale e delle coste occidentali, con molte *Scimmie* (*Scimpanzè, Gorilla, Cercopitechi, Colobi,* ecc.); molti *Rettili* velenosi e innocui giganteschi (*Pitoni*); *Lucertole, Camaleonti,* ecc.; molti *Uccelli* dai vivaci colori: *Turachi, Pappagalli; Coccodrilli* numerosi.

Sotto-regione malgascia, estesa a Madagascar ed isole vicine, in cui sono caratteristici certi *Lemuridi.*

5° Regione orientale o Indiana, comprendente le regioni a est dell'Indo, a sud dell'Imalaia e del Yang-tse-Kiang, con le Filippine e parte delle isole della Sonda. Ha quindi dimensioni relativamente ristrette, ma una fauna ricchissima. Si suddivide in:

Sotto-regione indiana con *Tigre, Jena, Elefante, Zebù, Mosco, Rinoceronte; Rettili* velenosi; *Gaviali; Insetti* e *Uccelli* dai bellissimi colori.

Sotto-regione ceylandese con *Elefanti, Lemuridi, Uccelli* e *Insetti* dai variopinti colori.

Sotto-regione indo-cinese con *Orsi* e *Cinghiali* e molti *Insetti.*

Sotto-regione malese con numerose *Scimmie* (*Orango, Gibboni*); *Tigre, Rinoceronte, Elefante, Tapiro;* moltissimi *Uccelli,* fra cui la *Salangana.*

6° Regione australiana, che comprende l'Australia con la Tasmania e la Nuova Zelanda: le isole della Polinesia e della Melanesia; una parte delle isole della Sonda. La fauna vi ha caratteri arcaici; anzi alcuni tipi possono considerarsi come veri fossili viventi. Si suddivide in:

Sotto-regione australiana con *Marsupiali* (*Canguro, Dingo,* ecc.); *Monotremi* (*Ornitorinco, Echidna*); *Pappagalli, Uccelli del Paradiso; Pesci dipnoi.*

Sotto-regione papuasica, estesa alla Nuova Guinea ed alle isole vicine con le Molucche, Celebes. Vi esiste una fauna mista asiatica-australiana con caratteristici i *Casoari.*

Sotto-regione polinesica, che ha, fra i *Mammiferi, Topi* e *Pipistrelli;* fra gli *Uccelli, Colombacci* e *Pappagalli.*

Sotto-regione neo-zelandese, senza Mammiferi indigeni; molti *Pappagalli* e caratteristico l'*Apteryx*, uccello dalle ali atrofizzate.

7° Regione neo-tropicale che abbraccia tutta l'America centro-meridionale, oltre al Messico ed alle Antille; è caratterizzata da numerosi *Sdentati;* si divide in:

Sotto-regione messicana con *Tapiro, Axolot* e grandi *Scorpioni.*

Sotto-regione delle Antille, con pochi e piccoli *Mammiferi,* fra cui nessun carnivoro nè sdentato; *Insettivori* del gen. *Solenodon.*

Sotto-regione brasiliana, comprendente i bacini dei grandi fiumi americani fino al Rio della Plata, con molte *Scimmie, Giaguaro* e *Puma; Sdentati* (*Bradipo* e *Formichiere*); *Marsupiali* (*Sariga*); *Vampiro; Uccello-Mosca; Pappagalli, Tucani; Caimani* ed anche ricchezza eccezionale di *Insetti,* specialmente di *Lepidotteri.*

Sotto-regione cilena con *Lama, Guanacho, Chinchilla*, molti *Rosicanti; Nandù*, ecc.

Dominio marino. Condizioni generali dell' « habitat » acquatico. — Il *dominio marino* è fra tutti il più antico e parecchi gruppi zoologici vi sono rimasti collegati fin dai più antichi tempi geologici; così i *Celenterati*, gli *Spongiari*, gli *Echinodermi*, i *Briozoari*, i *Cefalopodi* ed i *Pesci*.

A differenza di quanto si è detto per i Vegetali, l'*habitat* marino non ha limite in profondità, poichè la luce non ha influenza assoluta sulla vita animale; ma gli animali adattati a tale ambiente devono resistere a pressioni fortissime, anche di centinaia di atmosfere, per resistere alle quali modificano sovente la loro forma, assumendo quella a cono.

Riguardo poi alle variazioni di temperatura che gli animali possono subire nell'ambiente acqueo, il Möbius li distinse in *euritermi*, capaci di sopportare le variazioni termiche, e *stenotermi*, che non possono sopportare tali variazioni. Gli *stenotermi* sono in generale gli animali *eterotermi* e particolarmente quelli che abitano le grandi profondità; questi, quando vengono tratti fuori, muoiono non tanto per effetto della diminuita pressione che piuttosto per le variazioni di temperatura.

Nell'ambiente marino ha pure influenza la salinità, per cui gli animali di acqua dolce sono intossicati dalle soluzioni saline, con energia minore o maggiore a seconda della concentrazione; però se la variazione di salsedine è lenta si può avere per molte forme un adattamento. A questo riguardo gli animali marini si dividono appunto in *eurialini* e *stenoalini*.

L'insieme delle condizioni fisiche del mezzo acquatico permette di stabilire tipi biologici nettamente differenziati, che sono: il *Plankton*, comprendente gli organismi vegetali e animali liberi, con e senza organi di locomozione, viventi negli strati superficiali e la cui distribuzione è in rapporto con i movimenti dell'acqua, le variazioni di luce, di temperatura e di salsedine; il *Nekton*, formato da individui che nuotano a differenti profondità, ed il *Benthos*, che comprende gli animali fissi sul fondo.

Il dominio marino comprende dominii secondari nettamente differenziati e distinti in *littorale*, *pelagico* e *abissale*.

Dominio littoraneo. — Esso è limitato alla piattaforma continentale, quindi relativamente ristretto, ma ricco di forme; i tre tipi biologici (*Plankton*, *Nekton* e *Benthos*) vi sono rappresentati, però con predominio del *Plankton* e forme di *Nekton* capaci di migrare temporaneamente nel dominio pelagico. Le differenze di salinità portano all'esistenza essenzialmente di forme *eurialine*.

I movimenti del mare, sia ondoso che di marea, vi sono sensibili; ne risulta quindi un vantaggio per gli animali fissi, che ricevono abbondantemente il Plankton necessario al loro nutrimento. Hanno però uno svantaggio potendo essere staccati e frantumati dalle onde di tempesta, per cui questi animali presentano speciali adattamenti, come guscio spesso e duro nei *Crostacei*, *Gasteropodi*, *Lamellibranchi*, ecc., forte adesione alla roccia (*Patella*), o incastramento in essa (*Folade*).

Nel dominio littorale si può distinguere una zona calda e due zone fredde.

Nella *zona calda* sono particolarmente importanti le variazioni di salinità; vi vivono *Pesci* speciali, *Molluschi, Crostacei, Vermi.* ecc.

In generale si tratta di tipi relativamente antichi; così i Pesci datano quasi tutti dall'Era terziaria, il che spiega la affinità di fauna littorale ai due lati dello stretto di Panama e le relazioni faunistiche fra il Mediterraneo ed il Giappone.

Le due *zone fredde, boreale ed australe*, hanno caratteri comuni, specialmente per quanto si riferisce ai Mammiferi; si hanno nel *Nekton* delle migrazioni periodiche in rapporto con le stagioni, mentre il *Plankton* è più abbondante nelle latitudini elevate, particolarmente all'incontro di correnti a temperatura differente.

Dominio pelagico. — In esso non si hanno forme fisse, ma gli organismi galleggiano o nuotano continuamente, spostandosi sia in senso orizzontale che in senso verticale. La diversità del mondo pelagico si ritrova essenzialmente nel senso verticale; si ha così uno *strato superficiale*, più illuminato, e dove abbonda il Plankton vegetale ed animale, quest'ultimo con forme grandi, a pelle trasparente, incolora od azzurra (*Meduse, Ctenofori, Sifonofori, Tunicati, Chetognati, Oloturidi*, ecc.).

Un *secondo strato* è compreso fra 80 e 350 metri; quivi diminuisce il Plankton vegetale, ma aumenta quello animale, avendosi fauna abbondante con frequente colorazione rossa. Vi sono caratteristici *Radiolari, Cefalopodi* carnivori e *Pesci.*

Fra i 350 e gli 800 metri si incomincia ad osservare la riduzione o ipertrofia degli occhi e lo sviluppo di speciali estremità ed appendici di presa; così nei *Crostacei carnivori.* Oltre i 1000 metri la vita si fa rara e al di sotto dei 5000 metri l'oceano diventa quasi un deserto.

La *distribuzione orizzontale* presenta grande uniformità, avendosi però differenze faunistiche nei mari caldi e freddi o provocate dalle correnti marine.

Nella *zona calda* abbondano gli organismi con apparati fosforescenti ed il Mar dei Sargassi alberga tutta una fauna littorale trasportata in alto mare, con *Idrozoari, Briozoari, Crostacei e Molluschi,* cacciati da *Pesci,* i quali hanno le più strane forme mimetiche.

In generale poi nella zona calda si osservano variazioni diurne di temperatura e di salinità, che determinano uno spostamento verticale del Plankton.

Nella *zona fredda* le variazioni termiche sono annuali, donde annuali differenze, a seconda delle stagioni, nel Plankton; così nell'emisfero antartico si hanno abbondanti *Diatomee* nella primavera e nell'autunno, mentre d'estate, nell'emisfero boreale, è caratteristico il genere *Peridimius.*

Anche le correnti marine hanno influenza. Così nell'Atlantico settentrionale il Plankton delle coste europee, influenzate dal Gulf-Stream, è molto diverso da quello delle coste americane bagnate dalla corrente fredda del Labrador.

Dominio abissale. — Le spedizioni oceanografiche hanno messo in chiaro che la vita è ricca e specializzata anche nelle grandi fosse marine, con un dominio biologico nettamente differenziato, essendovi alcuni gruppi affatto esclusivi, come i *Crinoidi.*

Del resto le condizioni fisiche vi sono particolari, con enorme pressione, immobilità completa, temperatura uniforme (e quindi animali *stenotermi*), uniforme pure il fondo molle, fangoso e mancanza totale di luce. Gli adattamenti sono quindi pure affatto speciali, come regressione dell'apparato visivo in certi *Pesci* e *Crostacei* (gen. *Euryonides*), oppure gli occhi si modificano, aumentando il numero delle faccette (*Geryon*), o assumendo forma a telescopio (*Cefalopodi, Pesci*) per ricevere la luce fosforescente proveniente da speciali organi posti sopra altri animali, come *Cefalopodi, Crostacei, Pesci,* ecc.

Si ha pure grande sviluppo di organi tattili, come nel *Nematocarcinus,* fra i Crostacei e nello *Stomias,* fra i Pesci; la fauna essendo poi essenzialmente carnivora si ha anche sviluppo di organi di presa, di offesa e di difesa.

Dal lato sistematico la fauna abissale è uniforme, con quasi sempre le stesse associazioni in tutti gli oceani e sotto tutte le latitudini; abbondano gli *Echinodermi* ed i *Crostacei.*

Dominio delle acque dolci. — Esso è assai limitato, ma offre varietà di condizioni fisiche e di adattamenti biologici simili a quelli del dominio littorale marino; vanno poi distinte le acque lacustri dalle fluviali.

Nei *laghi* si ritrova una zona *littorale o del limo,* una *pelagica* ed una *abissale;* nel fango della prima vivono numerose *larve* di animali acquatici (*Pesci*) o terrestri (*Scarabei, Libellule, Mosche*). La seconda è caratterizzata dall'abbondanza del *Plankton* (*Crostacei* e *Rotiferi*), con migrazioni verticali, mentre il *Nekton* non contiene che *Pesci;* la terza comprende *Molluschi* (*Limnea*) con conchiglia sottile e ridotta, *Vermi, Crostacei* e *Pesci carnivori.* Qualche crostaceo (*Cyclops, Gammarus*) presenta riduzione nell'apparato visivo.

Il *regime fluviale* è ridotto a una zona stretta, allungata, dove le condizioni sono quelle lacustri, a cui però si aggiungono movimenti dell'acqua e variazioni termiche e di livello.

Gli Ittiologi distinguono una zona dei fiumi di montagna e una dei fiumi di pianura; una regione dei fiumi di steppe ed una delle regioni umide. In ciascuna zona lo studio della fauna fluviale è collegato con quello dei paesi bagnati da queste acque.

c) L'Uomo e le sue Razze.

Antichità dell'uomo. — Circa l'epoca precisa della comparsa dell'uomo alla superficie terrestre gli autori ancora non sono d'accordo, poichè vi è chi ritiene che i primi uomini già siano esistiti nell'Era Cenozoica fin dalla sua seconda parte, mentre altri, forse con maggior ragione, ammettono che la comparsa dell'uomo vada riferita al principio dell'Era quaternaria.

Certo è che in parecchie regioni della Terra l'uomo dovette assistere al grandioso fenomeno glaciale che caratterizzò il principio appunto dell'Era quaternaria, la quale, come vedremo, è anche detta *Antropozoica*. Essa infatti segnò lo sviluppo meraviglioso, rapido dell'uomo con la sua suddivisione in razze, che andarono sempre più differenziandosi per la molteplice e profonda influenza esercitata dall'ambiente, dal clima, dalla alimentazione, dagli incroci, ecc.

La regione ove prima apparve l'uomo, e da dove si sparse poi a popolare tutta la superficie terrestre, sembra doversi ritenere come posta nella parte mediana dell'antico continente, a sud della catena caucasica-imalaiana, tra l'India ed il Mediterraneo. Quivi i primi uomini vissero a lungo allo stato nomade, o riuniti in gruppi irregolari, e con il tempo migrarono, seguendo le linee oro-idrografiche che segnarono loro la via, sia ad ovest e sud-ovest nell'Eurafrica (Africa e Europa), sia ad est e sud-est nell'India, sia, attraversando l'arcipelago della Sonda, nell'Australia, sia, per la depressione che esiste tra il Caucaso e l'Imalaia, verso nord-est nell'Asia centro-orientale, passando infine in America, molto probabilmente attraverso allo stretto di Behring.

L'uomo intanto dalla *fase paleolitica*, in cui si serviva di rozzi oggetti di pietra per l'offesa e la difesa, passava a quella *neolitica*, durante la quale cominciò a lavorare la pietra ed a polirla; in seguito, in una fase ulteriore, *eneolitica*, alla pietra cominciò ad associare l'uso di qualche metallo, arrivando così alla *fase metallica*, nella quale si servì prima del rame, poscia del bronzo ed infine del ferro, il che, come già in origine la scoperta del fuoco, ebbe un'importanza grandissima nell'evoluzione progressiva dell'Umanità.

Razze umane primitive. — Dall'uomo primitivo, per influenze fisico-biologiche, si differenziarono dapprima due razze principali:

1° Una *razza negroide* di colorito brunastro, a cranio stretto, ovoidale (*dolicocefalo*), a faccia *prognata*, cioè con angolo facciale molto accentuato, a naso largo (*platirrino*), dai capelli lanosi (*ulotrichi*), ecc., che si sviluppò specialmente nell'Asia inferiore, nell'Eurafrica, spingendosi fino in Australia.

2° Una razza *premongoide* a cranio arrotondato (*brachicefalo*), a faccia larga e con angolo facciale poco accentuato (*ortognata*), con naso sottile (*mesorrino*), con capelli lisci e dritti (*lissotrichi, euticomi*). Questa razza si sparse nell'Asia centro-orientale; in seguito nell'America ed in una parte delle isole del Pacifico.

Dall'unione, dall'incrocio e dalla sovraposizione di queste razze primitive se ne originarono altre parecchie, miste, intermedie: così la *eurafricana*, nel bacino del Mediterraneo; la *eurasiatica*, tra l'Europa e l'Asia, e la *malesoide*, molto complessa, nell'arcipelago della Sonda e nella Polinesia. Alcuni residui delle razze primitive restarono però qua e là, come certi Negriti della Melanesia ed i Papuasi, a tipo negroide; certi Malesi a tipo mongoloide, ecc.

Nuovamente in seguito all'unione, incrocio e sovraposizione delle due razze, eurafricana ed eurasiatica, sorse la *razza europea-caucasica* o *bianca*, la cui pelle, specialmente per azioni climateriche, perdette con il tempo il pigmento colorante; nell'Asia meridionale similmente, per fusione tra Mongoloidi e Negroidi, si costituiva la *razza iranica*. Dalla fusione di questa poi con i rappresentanti della europea-caucasica, si originò la complessa *razza-ariana* o *indo-iranico-europea*, mentre, anche in questo caso, restavano, localmente, residui speciali e curiosi delle razze originarie.

Razze umane attuali. — Fondamentalmente le razze umane possono quindi ridursi a due:

Una primitiva, inferiore, *ulantropa* o *ulotrica* (cioè con capelli lanosi a sezione sub-elittica) a tinta bruna, *dolicocefala* e con la faccia più o meno *prognata*, che si stabilì essenzialmente nelle regioni subtropicali.

Un'altra, superiore, complessa, *lissantropa* o *lissotrica* (cioè con capelli lisci a sezione cilindrica), dal colorito più o meno chiaro, la quale andò ad abitare essenzialmente nelle regioni temperate, ove si sviluppò straordinariamente.

In seguito però alle profonde modificazioni che si sono verificate nel corso dell'Era antropozoica, i tipi primitivi non mancarono di differenziarsi, cosicchè oggi è possibile riconoscere facilmente l'esistenza di un gran numero di razze, le quali nondimeno si possono raggruppare in tre tipi:

1° *Tipo negroide, inferiore, ulantropo, prognato, dolicocefalo*, a pelle nera o bruna (*melanoderma*), colore che hanno pure i peli e gli occhi, in rapporto con le condizioni climatiche; *ericoma*, cioè con i capelli formanti una capigliatura uniforme; con lunghe gambe, talora leggermente arcuate; fronte bassa e piatta; piccola capacità cranica; zigomi sporgenti; forti mascelle e denti robusti; naso spesso, largo, piatto con larghe narici (*platirrino*); bocca grande con grosse labbra; occhi orizzontali e rara barba.

Questo tipo, in origine molto sparso alla superficie terrestre, si ridusse in seguito nelle regioni intertropicali dell'emisfero australe, specialmente nell'Africa centro-meridionale.

Vi appartengono le *razze negroidi* o *etiopiche*, cioè i Negri, Sudanesi, Cafri, Ottentoti, Boschimani, ecc., con polpacci molto ridotti e nanismo frequente; usano un linguaggio povero e senza parole astratte, di cui è tipo la lingua bantù.

Le *razze papuoidi* o *melanesoidi*, con i capelli a ciuffetti, *lofocome*, rappresentate dai Papuasi e dai Negriti, ma che non ebbero mai grande sviluppo numerico.

Le razze del primo tipo contano ancora oltre 150 milioni di individui, ma sono, almeno per parecchie di esse, in via di decadenza e tendono a scomparire; per quanto poi si siano sviluppate attraverso tutta l'Era antropozoica, non ebbero mai una vera storia.

Da ricordare come ben distinta è la *razza australoide* o *australiana* (quasi Negri d'Australia), dalla pelle nera o bruna; *dolicocefala* e *prognata*; dal cranio elevato (*ipsicefalo*); fronte fuggente; naso largo (*platirrino*);

labbra spesse, tumide; viso lungo e stretto con larghe orbite; quasi senza polpacci e con scheletro debole.

Questa razza, specialmente per la forma dei capelli (neri, lisci, dritti o ricciuti, a sezione ovale) e la barba abbondante, sembra avere una lontana parentela con razze superiori occidentali, mentre il color nero, il prognatismo, la forma del naso, ecc. ricordano le razze inferiori negroidi.

La razza australiana, restata alla fase litica senza passare a quella metallica, è in via di graduale estinzione.

2° *Tipo mongolide, brachicefalo,* dalla pelle gialla (*xantoderma*), dalla faccia larga e dai zigomi sporgenti; con capelli generalmente neri, lisci o ondulati, lunghi e dritti (*lissotrichi, euticomi*); naso medio (*mesorrino*); occhi scuri, obliqui, con apertura stretta (*occhio mongoloide*); corpo poco peloso; senza o con rara barba; statura piuttosto piccola. Questo tipo si sparse nella più gran parte dell'Asia, formando le *razze asiatiche, gialle, altaiche* o *mongoloidi,* cioè Indo-cinesi, Coreani, Giapponesi, Siamesi, Tibetani, Mongoli, Uraliani, Buriati, Tongusi, Kirghisi, Tartari, Calmucchi, ecc., presentando forti differenziazioni di tinta e di altri caratteri nella Malesia e nella Polinesia (*razze malesoidi*).

Il tipo mongolide dovette spingersi nell'America, che occupò interamente, originando le molteplici *razze americane* (Aztechi, Sonoriani, Caraibi, Amazzoniani, Botocudi, Guaraniani, Araucaniani, Patagoni, ecc.) fortemente differenziate in causa delle svariatissime condizioni climateriche, per cui vi si passa dal tipo *dolicocefalo* al *brachicefalo* per l'intermedio *mesaticefalo,* mentre il colorito va dal giallo rossastro, al bruno rossastro, al bronzeo.

Nelle regioni polari si differenziarono invece le *razze artiche* o *iperboree* (Samoiedi, Lapponi, Esquimesi, Groenlandesi, ecc. e Fuegini nell'America del Sud), che si possono considerare come razze regredite e depresse per le condizioni sfavorevoli del mezzo ambiente, e quindi con cranio appiattito, bassa statura, ecc.

Le razze del secondo tipo arrivarono sulla Terra ad uno sviluppo enorme e sono rappresentate attualmente da oltre 600 milioni di individui; tranne alcune, come le americane, esse sono ancora in continuo sviluppo.

Come derivazione della razza mongoloide può considerarsi la *razza mista orientale* o *malese,* bruno-giallastra, a capelli neri, lisci, dritti e abbondanti, con poca barba, cranio arrotondato (*mesaticefalo*), zigomi sporgenti, bocca larga e labbra tumide, naso corto con larghe narici, statura poco elevata.

Questa razza si sviluppò, riducendosi a vita essenzialmente marittima, nell'arcipelago della Sonda e nella Polinesia, spingendosi fino a Madagascar.

Altre razze miste poi, mongoloidi-negroidi, si svilupparono nell'Indo-Cina, nel Giappone, alle isole Sacaline e fors'anche in America.

3° *Tipo ariano,* il più importante per l'influenza assunta sulla Terra, a pelle chiara (*leucoderma*) in conseguenza della perdita del pigmento originario, essendo vissuto essenzialmente in climi temperati; a capelli

lisci (*lissotrichi*) più o meno ondulati (*euplocomi*); con cranio *brachicefalo*, talora *dolicocefalo*, più comunemente *mesocefalo*.

Questo tipo provenne dalla trasformazione, fusione ed incrocio delle due razze primitive, mongoloide brachicefala e negroide dolicocefala e diede essenzialmente origine ad una *razza mista-occidentale*, la *ariana*, in generale bianca-bionda (*xantocroide*), ma anche bruna (*melanocroide*), nell'Africa Settentrionale.

Il tipo ariano, in origine indo-mediterraneo-europeo, si moltiplicò e si diffuse così abbondantemente che divenne circumatlantico tendendo alla conquista del Mondo, e ciò per la sua vitalità, il suo spirito d'iniziativa, d'organizzazione e di progresso in ogni manifestazione dell'attività umana.

Dal tipo ariano si differenziarono parecchie razze; così la *indo-europea* o *ariana propriamente detta*, che si sviluppò nell'Asia meridionale (Indi, Iraniani, Armeni, ecc.), nella regione del Mediterraneo ed in buona parte dell'Europa (Greco-Romani, Latini, Celti, Lituani, Slavi, Germani, Anglo-Sassoni, ecc.).

Nell'Asia mediterranea e nell'Africa Settentrionale esso diede origine alle *razze semitiche*, dal naso aquilino, labbra tumide, barba e capelli neri abbondanti, ecc. (Caldei, Assiri, Babilonesi, Fenici, Arabi, Siriaci, Israeliti, ecc.) ed alle *razze camitiche* bruniccie dell'Africa (Egiziani, Nubiani, Galla, Abissini, Somali, Berberi, ecc.).

Le razze bianche, le quali usano lingue a flessione con numerosi vocaboli astratti, sono ora rappresentate da oltre 600 milioni di individui e sono in via di continua espansione a detrimento di tutte le altre razze.

PARTE SECONDA

DINAMICA TERRESTRE O GEODINAMICA

ESODINAMICA

CAPITOLO I.

Azione dell' atmosfera.

a) Azione chimica.

L'azione chimica dell'atmosfera, essenzialmente distruttrice, si esercita sopra i materiali terrestri mediante i suoi componenti, i quali però agiscono con intensità molto variabile, per cui mentre hanno somma importanza l'ossigeno, l'anidride carbonica e l'acqua, l'azoto è si può dire inerte, eccetto il caso in cui, sotto l'azione delle scariche elettriche temporalesche, si trasformi in anidride nitrosa e quindi in acido nitrico, avendo allora forte azione decomponente.

L'ossigeno può dare luogo a delle *ossidazioni*, specialmente quando si trovi allo stato di ozono (O_3), avendo allora azione più energica; tuttavia il fenomeno della semplice ossidazione è attualmente meno intenso alla superficie terrestre, poichè si può dire che tutte le sostanze minerali ossidabili già lo furono all'epoca della consolidazione del globo.

L'anidride carbonica da sola ha poca azione; in presenza però dell'acqua acquista grande importanza nella trasformazione dei carbonati insolubili in bicarbonati solubili, concorrendo quindi attivamente alla circolazione della materia minerale. Medesimamente l'anidride carbonica in presenza dell'umidità trasforma tutti i minerali di rame in malachite ($CuCO_3.Cu(OH_2)$), che si incontra quindi sempre nel cappello, cioè nella parte superficiale, dei giacimenti cupriferi.

L'acqua può dare luogo a fenomeni di *idratazione*, trasformando, ad esempio, l'ematite (Fe_2O_3) in limonite ($Fe_2O_3.nH_2O$) e l'anidrite ($CaSO_4$) in gesso ($CaSO_4.2H_2O$).

Più che presi isolatamente però i componenti dell'atmosfera hanno potentissima azione quando agiscono contemporaneamente; la loro influenza

si fa allora sentire sopra tutte le rocce, senza eccezione, per quanto alcune, come le quarziti, data la loro composizione mineralogica, abbiano, evidentemente, resistenza maggiore.

Limonitizzazione. — Un'azione importante ha l'atmosfera sopra i minerali di ferro, i quali possono essere semplicemente idratati (come nel caso dell'ematite sopra citato), ma che più comunemente subiscono un processo

Fig. 32. — Fenomeno di caolinizzazione nel granito del vallone Saleses (Alpi Marittime).

di alterazione, nel quale, sotto l'azione dell'ossigeno e del vapor acqueo, vengono trasformati in limonite.

Questo fenomeno della *limonitizzazione* interessa tutti i minerali di ferro: pirite, siderite, pirrotina, ecc., donde il cappello di limonite, che esiste sempre alla superficie dei giacimenti ferriferi ed i frequenti casi di pseudomorfosi.

Anche i minerali che contengono il ferro in quantità anche piccola, in unione ad altre basi, come sarebbero ad esempio molti silicati (anfiboli, pirosseni, granati, ecc.), possono subire la limonitizzazione, almeno parziale. È appunto questa trasformazione di sali di ferro in ossido idrato la causa della frequente *rubefazione*, cioè della colorazione giallo-rossastra, che presentano moltissime rocce alla loro superficie.

Caolinizzazione. — Sotto l'azione combinata dell'anidride carbonica e dell'acqua i silicati di alluminio componenti delle rocce, e quindi più parti-

colarmente i feldspati, si alterano più o meno rapidamente con un processo caratteristico. Le basi, potassa, soda e calce, vengono trasformate in carbonati, sciolte dall'acqua ed asportate, mentre il silicato alluminifero rimanente si idrata dando il *caolino*, donde l'importante fenomeno conosciuto col nome di *caolinizzazione*.

Questa si esercita senza interruzione alla superficie delle rocce granitiche, gneissiche o di analoga composizione, facendo sentire la sua azione fin anche a 30 e più metri di profondità. La massa della roccia viene disgregata, resa incoerente (fig. 32) ed i prodotti dell'alterazione sono asportati dalle acque superficiali, andando poi a formare le *argille*, e quindi il *terreno vegetale*, mentre i granuli di quarzo, fluitati, costituiscono le *sabbie*, dalla cui cementazione provengono poi le *arenarie*.

L'argilla risulta infatti formata essenzialmente dal caolino mescolato con molteplici impurità (carbonati, ossido idrato di ferro, ecc.), che provengono dalla decomposizione dei minerali delle rocce; quest'argilla meccanicamente trasportata, e depositata dalle acque nel fenomeno della sedimentazione, si arricchisce poi di sostanze organiche provenienti dai residui vegetali e animali dando l'*humus* o *terra vegetale*, in cui il fosfato di calcio, così utile alla nutrizione delle piante e quindi degli animali, viene provveduto dai fosfati, e più particolarmente dall'apatite, che le rocce contengono sempre, almeno come inclusioni nei loro componenti.

Laterizzazione e formazione di ossidi di alluminio e di ferro. — Con il nome di *laterite* (da *later* = mattone, laterizio) proposto dall'inglese Buchanan nel 1807, si indica una speciale formazione superficiale delle regioni tropicali.

Il terreno su vastissime aree appare costituito da una caratteristica terra od argilla rossa, più o meno ricca in granuli di sabbia, nella quale terra è notevole la povertà, per non dir la mancanza assoluta, del calcare e l'abbondanza straordinaria dell'ossido di ferro.

Questo terreno non si presta alla vegetazione arborea e si presenta arido o ricoperto da piante xerofile; esso si estende specialmente nell'India, ove la laterite fu primitivamente osservata e studiata, nelle isole della Sonda, a Ceylon, nella Nuova Guinea, alle isole Seychelles, a Madagascar, nell'Africa equatoriale e nell'America Meridionale, particolarmente nel Brasile.

In quelle regioni il deposito superficiale di laterite, il cui colore, per quanto prevalentemente rosso, può variare dal rosso vivo al rosso bruno e bruno nerastro, raggiunge sovente grande potenza, così di quasi 100 metri nel Dekkan; le formazioni di laterite possono spingersi fin all'altezza di 1500-2000 metri.

Il fenomeno della *laterizzazione* è dovuto alle speciali condizioni climateriche delle regioni tropicali. Dapprima si ritenne che la laterite dovesse provenire essenzialmente da rocce vulcaniche e più precisamente da basalti; in seguito si potè constatare che tutte le rocce, anche le alluvioni, sono suscettibili di tale alterazione, che dipende quindi non dalla loro natura, ma dalle condizioni dell'ambiente.

Si tratta essenzialmente di un fenomeno riferibile alla *caolinizzazione;* però nei paesi tropicali, sotto l'intensa azione degli agenti meteorici (abbondanti precipitazioni alternanti con siccità, forte temperatura, ecc.), tale fenomeno dev'essere più rapido e profondo. Inoltre i sali di ferro, abbondanti come prodotto di decomposizione delle rocce, sono portati dalle acque di infiltrazione nella parte alterata e resa permeabile e quivi fatti circolare; questi sali subiscono un processo di riduzione, trasformandosi in sesquiossido, che è appunto la causa

del color rosso della laterite, la cui massa può anche esser cementata dall'ossido di ferro, avendosi una certa consistenza e stabilità nella formazione.

Il sesquiossido di ferro viene frequentemente accumulato nella laterite, sotto forma di arnioni e di concrezioni anche molto voluminose, formando sovente dei depositi stratificati continui, che possono costituire una risorsa mineraria non trascurabile; molte popolazioni indigene, per esempio in Africa, ricavano appunto il ferro trattando, a basso fuoco, il minerale della laterite.

La causa della speciale riduzione dei sali di ferro non è peranco ben nota; vi sono così Geologi che la spiegano semplicemente ammettendo il processo come dovuto all'azione dell'acido nitrico e del nitrato d'ammonio, che, nei forti temporali di quelle regioni, si formerebbero a spese dell'acqua e dell'azoto dell'atmosfera. Che la presenza di acido nitrico possa facilitare il fenomeno è cosa non fuori del probabile, ma non sembra dover essere sufficiente; vi devono essere altre cause che sfuggono ancora e non manca chi vuole vedervi un'azione degli organismi, i quali (come le abbondantissime termiti delle regioni tropicali), asportando dal terreno le materie organiche, agevolerebbero le azioni riduttrici, a cui potrebbero concorrere certi speciali microrganismi.

In alcuni luoghi, come in parecchie località dell'India, al Surinam, alle Seychelles, ecc., il processo della laterizzazione diventa ancor più profondo, perchè una gran parte della silice viene anche asportata, risultandone la formazione di *ossidi idrati di alluminio*, sempre molto ricchi anche in ferro, come la *gibbsite* o *idrargillite* ($Al(OH)_3$), il *diasporo* ($Al_2O_3.H_2O$) e specialmente la *bauxite* ($Al_2O_3.2H_2O$), che è minerale di primaria utilità per l'estrazione dell'alluminio.

Notiamo infine che sul valore della parola laterite non tutti gli autori sono concordi, essendovi chi vuole tale nome riservato esclusivamente ai prodotti di alterazione contenenti allumina libera.

Ferrettizzazione. — Come seguito ai fenomeni della caolinizzazione e della laterizzazione conviene aggiungere poche parole sulla *ferrettizzazione* o formazione del *ferretto*.

Vengono indicati sotto questo nome certi terreni alluvionali che, per azione degli agenti atmosferici e delle acque meteoriche, subirono una totale decalcificazione ed una sopraossidazione dei loro elementi ferriferi, donde il caratteristico colore che valse loro il nome.

I terreni ferrettizzati sono specialmente sviluppati in parecchi punti della pianura padana; per la mancanza di calce, l'abbondanza del ferro e la loro piccola permeabilità diventano poco adatti alla vegetazione, particolarmente arborea.

In Lombardia e Piemonte sono, fra altri nomi, conosciuti rispettivamente con quelli di *brughiere* e *vaude*.

Lapiez e Terra rossa. — L'azione combinata dell'acqua dell'atmosfera, sotto forma di pioggia, e dell'anidride carbonica, esercitandosi potentemente sopra i calcari, porta non soltanto alla loro dissoluzione, ma anche alla loro decolorazione o all'alterazione della tinta primitiva. È questo un fenomeno molto comune, nel quale i calcari neri diventano superficialmente grigi o biancastri, certi calcari bianchi subiscono la rubefazione, ecc.

Sovente poi l'azione dell'acqua accompagnata dall'anidride carbonica, specialmente nelle regioni poste ad una certa altitudine, produce alla superficie delle rocce calcaree delle caratteristiche rugosità, scanalature, fossette, ecc. I calcari così erosi sono detti *rascles* in certe località francesi e sono pure conosciuti con i nomi di *lapiez* o di *karrenfelder* (nei paesi di lingua tedesca).

Siccome poi moltissime rocce calcaree contengono in quantità più o meno grande dell'argilla, questa, in seguito alla dissoluzione del carbonato, può esser messa in libertà, rubefatta, rimaneggiata ed accumulata dalle acque superficiali

nelle depressioni, alle falde dei monti, ecc., costituenti un deposito talora potente, indicato nella regione delle Alpi Orientali con il nome di *terra rossa*.

Alla *terra rossa* sembrano essere collegati taluni importanti giacimenti di *bauxite*, quelli ad esempio dell'Istria sud-orientale, ove il sesquiossido idrato di alluminio (per quanto da qualche autore ritenuto come di origine endogena) potrebbe essere semplicemente dovuto alla desilicizzazione della terra rossa, con un processo, per altro, non ancora ben spiegato.

b) Azione fisico-meccanica.

Azione della temperatura e della siccità. — Nelle regioni in cui si verificano forti variazioni nelle temperature con abbassamento, anche notevole,

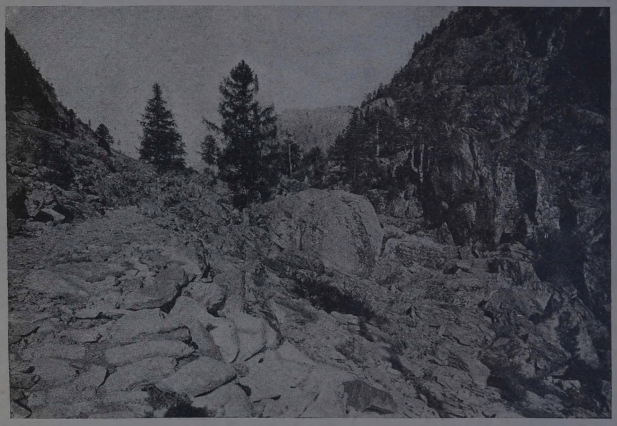

Fig. 33. — Detriti di falda nel Vallone della Beonia (Alpi Marittime).

sotto 0°, le rocce vanno soggette ad una profonda degradazione conseguente al fenomeno del *gelo* e *disgelo*.

Infatti l'acqua della precipitazione atmosferica, come anche quella proveniente dalla fusione della neve, filtra, in quantità più o meno abbondante, per porosità, nelle rocce o s'insinua attraverso alle loro fessure; abbassandosi la temperatura al disotto di 0°, l'acqua congela e aumenta quindi di volume esercitando, quasi a modo di cuneo, uno sforzo sufficiente per spaccare e frantumare le rocce, anche le più resistenti.

I frammenti però restano dapprima aderenti, poichè il ghiaccio funziona da cemento; ma innalzandosi nuovamente la temperatura, tale cemento momentaneo viene a scomparire ed allora i frammenti, resi indipendenti,

si staccano, rotolano frantumandosi nuovamente, ed essendo facilmente mobili possono dar luogo a frane e scoscendimenti.

A questo fenomeno del gelo e disgelo, che si fa intensamente sentire nelle montagne, specialmente nelle parti elevate prive di vegetazione e soggette al freddo intenso, è dovuta appunto l'incoerenza delle rocce, l'aspetto irregolare, dirupato, a creste, guglie, ecc., che presentano le vette e la formazione dei caratteristici *detriti di falda* (fig. 33), cioè ammassi di frammenti con dimensioni e forme molto variabili, ma però sempre a spigoli vivi, che caoticamente ricoprono i fianchi denudati dei monti.

Fig. 34. — Rupi di granito disfatte dalle intemperie nell'Usukuma (Africa orientale tedesca). Secondo Oscar Baumann.

In tale degradazione ha pure una certa importanza la natura delle rocce, poichè subiscono più facilmente l'infiltrazione dell'acqua, e quindi l'azione del gelo, le rocce schistose, grossolanamente granulari e poco coerenti, che non le compatte, afanitiche ed a struttura uniforme.

Anche senza gelo e disgelo, ma semplicemente laddove si verificano forti *sbalzi di temperatura* tra il giorno e la notte, si può avere lo sgretolamento superficiale delle rocce e la loro frantumazione in modo analogo, per quanto meno intenso, a quello sopra indicato. Ciò avviene specialmente nelle regioni tropicali (fig. 34), ove durante la notte, per la potente irradiazione, la temperatura subisce un notevole abbassamento; per questo motivo si può avere nel deserto di Gobi una variazione di 40° tra il giorno e la notte, di 50° nel Congo e nella regione dei grandi laghi africani, di 70° e più nel Sahara, ecc.

Un'azione consimile si ha pure nelle regioni tropicali, ove esiste una netta distinzione tra stagioni asciutte ed umide; la stagione delle piogge, che, ad esempio, nel Camago e nell'Africa equatoriale, segue i periodi di

massima temperatura, provoca la formazione di temporali repentini, che rovesciano acqua alla temperatura di 20°-25° sopra rocce, le quali per l'insolazione erano state portate a 70°-80°; è naturale quindi che il fenomeno abbia una ripercussione sulla degradazione superficiale.

Agli sbalzi di temperatura congiunti invece al *disseccamento* (dovuto alla mancanza di precipitazione e quindi di circolazione superficiale) che subisce il terreno, è dovuta la frantumazione delle rocce, il loro sgretolamento e la loro riduzione in frammenti anche minuti, che col tempo porta alla formazione dei *deserti*. Questi infatti non sono necessariamente da ritenersi, secondo si crede comunemente, come antichi bacini marini, ma ad originarli sono sufficienti i fenomeni atmosferici indicati, tanto più che la siccità impedisce la vegetazione e quindi la formazione di un manto protettore alla superficie del suolo.

Del resto anche nei nostri paesi il disseccamento può provocare lo sgretolamento delle rocce argillose od altrimenti poco coerenti, come lo provoca del fango dopo la pioggia.

Dove poi periodi di siccità alternano con periodi di precipitazione atmosferica, come ad esempio nelle Pampas, Campos, ecc., dell'America Meridionale, si vede il terreno, prima ricoperto di lussureggiante vegetazione erbacea, diventare arido con formazione di abbondantissima polvere, che viene sollevata a nembi dal vento.

Nelle regioni equatoriali l'alterazione superficiale delle rocce per azione degli agenti atmosferici, in unione al dilavamento operato dalle acque piovane, porta ad un tipo di degradazione affatto caratteristico.

Le rocce, specialmente se cristalline, come graniti, gneiss, ecc., affioranti alla superficie del suolo, assumono talvolta una curiosa forma arrotondata, che ricorda perfettamente le *roccie montone* delle regioni glaciali, per quanto in questo caso il fenomeno abbia tutt'altra origine ed il glacialismo non c'entri per nulla. Si tratta invece del divalamento esercitato dalle acque meteoriche sulla superficie delle rocce (in regioni in cui il fenomeno del gelo e disgelo non si fa sentire e quindi ove è minima la frantumazione), acque che continuamente asportano i prodotti della disgregazione e decomposizione dovute all'azione chimica e meccanica dell'atmosfera.

La stessa azione combinata delle acque meteoriche con gli agenti atmosferici può in quelle regioni, per la resistenza maggiore o minore delle diverse rocce associate o anche di una stessa roccia nei suoi diversi punti, portare all'isolamento di blocchi e massi, che vengono a sporgere alla superficie e ad essere col tempo del tutto isolati, avendosi nuovamente una somiglianza con le regioni glaciali, simulando tali blocchi perfettamente i massi erratici.

Nelle regioni desertiche tropicali si osserva poi sovente alla superficie delle rocce (graniti, diabasi, dioriti, ecc.) una patina brunastra o nera, non di rado con una lucentezza come di vernice, dovuta alla formazione di ossidi di ferro e manganese, provenienti dall'alterazione dei minerali della roccia contenenti tali elementi, anche in piccole proporzioni. Final-

mente non è raro di vedere le rocce cristalline assumere alla loro superficie un aspetto rugoso, vacuolare, quasi scoriaceo, dovuto alla diversa intensità dell'azione degli agenti atmosferici sui minerali componenti, dei quali alcuni resistono, mentre altri sono decomposti ed asportati (1).

Azione del fulmine. — Anche il fulmine può avere una certa azione dinamica, per quanto ordinariamente non di grande importanza.

Così, benchè sembri essere un fenomeno raro, si può avere la degradazione delle rocce con vera frantumazione; si cita ad esempio, alle isole Shetland, il distacco di un blocco di roccia del volume di circa 130 metri cubi e la sua riduzione in frammenti per opera del fulmine.

Più comune è la vetrificazione, per fusione superficiale delle rocce, cioè la formazione delle *fulguriti*.

Sulle vette dei monti le rocce si presentano ricoperte di bollosità vetrose, con color nero lucente, e dovute appunto a fusione parziale per azione del fulmine durante i temporali; il fenomeno si verifica specialmente per le roccie basiche, con silicati ferro-magnesiferi, ma non manca neppure in quelle acide: graniti, ecc.

Le rocce colpite dal fulmine assumono talora una polarità più o meno distinta diffusa a tutta la massa o limitata a punti speciali, polarità che può esser conservata anche per lungo tempo.

Nelle rocce incoerenti e specialmente nelle sabbie delle dune non sono rare le fulguriti, che si risolvono nell'agglutinamento dei granuli per parziale fusione e vetrificazione o nella produzione di tubi e cilindretti, limitati dalla sabbia fusa e vetrificata. I tubi hanno forma più o meno regolare, potendo anche esser ramificati; le loro dimensioni possono essere di parecchi decimetri di lunghezza con qualche centimetro di diametro.

Alle volte, per quanto raramente, l'azione del fulmine sopra le rocce cristalline non porta a fusione e vetrificazione, ma sembra essere semplicemente meccanica, producendo perforazioni in forma di canali sinuosi, le cui pareti, quasi levigate non presentano però traccia di fusione.

Il punto del globo più ricco di fulguriti sembra essere il Piccolo Ararat, in Armenia, costituito appunto da calcare compatto, perforato in ogni direzione dal fulmine tanto da assumere quasi un aspetto cavernoso.

Azione del vento. — L'azione del vento è essenzialmente duplice: *di trasporto* e di *erosione;* nel secondo caso essa viene indicata più particolarmente con il nome di *corrasione*.

A fenomeni di trasporto sono dovute le importanti formazioni delle *dune* e del *loess*, di cui ci occuperemo in seguito, ma, per quanto non diano mai luogo a depositi notevoli, vanno ricordate pure le sabbie, ceneri ed altri materiali pulverulenti di origine desertica o vulcanica, che il vento può trasportare anche a grandi distanze. Si citano infatti i casi di ceneri del Vesuvio portate a Costantinopoli e di minute deiezioni dei vulcani dell'Islanda arrivate fino a Stoccolma, cioè alla distanza di quasi 2000 km.

Il trasporto operato dal vento è la causa delle cosidette *piogge di sabbia*, che si verificano con una certa frequenza nell'Italia meridionale e sulle

(1) All'azione degli agenti atmosferici sembra anche esser dovuta la formazione nelle rocce, specialmente granitiche, così nella Sardegna, in Corsica, nel Portogallo, nell'Africa equatoriale, ecc. di cavità più o meno estese e regolari, che corrisponderebbero a zone di minor resistenza nella massa. Tali cavità vengono localmente indicate con il nome di *tafoni*.

altre coste europee del Mediterraneo e dovute a materiali provenienti dal Sahara, i quali, in altra direzione, vengono anche trasportati fin nelle parti mediane dell'Atlantico.

A queste sabbie, sovente di color giallastro o rossastro, sono dovute le cosidette *piogge di sangue* e *piogge di zolfo* (potendo però queste ultime esser dovute a trasporto di polline), come materiali neri, d'origine vulcanica, possono dare le *piogge d'inchiostro*. È notevole poi che in molti casi

Fig. 35. — Sabbia spinta dal vento nel deserto presso Vadi Alfa (Egitto).

queste piogge contengono una grande quantità di organismi microscopici, generalmente vegetali, come Diatomee, ecc.

Nelle regioni ove le piogge di sabbia si ripetono frequentemente, esse originano talora degli accumuli, il cui materiale può anche venir cementato per azione delle acque della circolazione superficiale. Si formano così delle vere arenarie, come ad esempio alle isole del Capo Verde, alle Bermude, ecc.

Le sabbie, specialmente se quarzose, proiettate con violenza contro le rocce possono logorarle ed inciderle variamente; il fenomeno non è tanto evidente nelle rocce tenere e poco coerenti (perchè si può dire che sotto l'azione meccanica la loro superficie viene continuamente rinnovata), ma è invece palese sulle rocce dure, nessuna delle quali, neppure le quarziti, i graniti, ecc., resiste alla corrasione. Anzi nelle rocce granulari a grossi elementi si può osservare alla superficie un aspetto rugoso, vacuolare dovuto alla maggior resistenza di certi minerali, che si vedono sporgere più o meno distintamente.

Analogamente e per la stessa causa si può avere una smerigliatura e vera politura delle rocce sottoposte alla corrasione; così all'isola di Sylt, sulla costa della Frisia, le case presentano i loro vetri naturalmente smerigliati nella direzione del vento. Il fenomeno è però tipico nel deserto del Sahara, ove certi calcari furono ridotti lucidi come marmi lavorati, oppure presentano profonde incisioni (fig. 35) che segnano perfettamente la direzione dei venti dominanti.

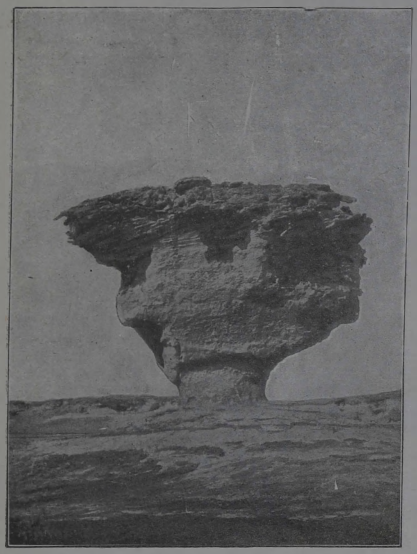

Fig. 36. — Un « testimonio » nell'oasi di Gara.

Esercitando la sua azione sopra frammenti di roccia ricoprenti il suolo, la sabbia proiettata dal vento li corrode e li arrotonda, riducendoli ad una forma molto simile a quella presentata dai ciottoli fluviali e specialmente marini; il fenomeno si verifica per estese zone dei deserti asiatici e del Sahara e concorse già a far ritenere che potessero esser antichi bacini marini, mentre, come già si è detto, l'origine dei deserti può essere affatto differente.

In certi terreni poi costituiti dall'accumulo di detriti (alluvioni, morene, ecc.) il vento può smuovere ed asportare le parti più minute, mettendo allo scoperto i blocchi maggiori, che vengono così ad essere isolati; un fenomeno analogo si può verificare per le diverse intensità della corrasione, laddove esistano sovrapposizioni di rocce tenere e dure, compatte ed incoerenti, sulle quali si eserciti l'azione del vento.

La parte isolata sovente prende forma di fungo o di tavola con un sostegno, che tende sempre più ad assottigliarsi; è questa l'origine dei *gur*, in forma di funghi, del Sahara (fig. 36) e di consimili formazioni degli Stati Uniti, nella regione del Colorado e dell'Arizona.

Dune. — Con il nome di *dune* si indicano accumuli di sabbia in forma di colline più o meno elevate ed allineate con un certo parallelismo sulle spiagge del mare e nell'interno dei deserti.

Questi rilievi sono essenzialmente dovuti all'azione di trasporto del vento, il quale, quando con una certa intensità soffia costantemente in una determinata direzione sopra una spiaggia aperta, non accidentata e sab-

biosa, solleva e trasporta appunto la sabbia, che può essere poi arrestata e quindi accumulata contro un qualche ostacolo: masso roccioso, cespuglio, ecc. Con il tempo l'accumulo assume la forma di un dorso collinoso con altezza variabilissima, da pochi centimetri fino a centinaia di metri, e ciò in relazione con la natura e la quantità della sabbia smossa, la sua natura mineralogica, la natura dell'ostacolo, l'intensità e la costanza del vento, ecc. La pendenza dei versanti è pure variabile, ma talora sensibilmente accentuata, specialmente nelle dune più elevate; essa raggiunge 10° nella direzione del vento, arrivando a 30° e anche più in quella opposta.

Le dune non sono immobili, ma subiscono una continua progressione nella direzione del vento, donde apputo il nome di *colline semoventi* con cui sono pure indicate.

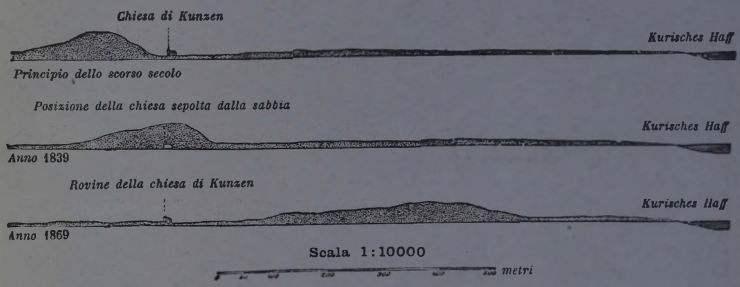

Fig. 37. — Progressione delle dune nei dintorni del villaggio di Kunzen.

La spiegazione dello spostamento è semplice: il vento smuove costantemente la sabbia costituente il primo rilievo formatosi e la trasporta specialmente dalla parte inferiore verso la sommità, donde poi precipita sul versante opposto. La sabbia viene allora ripresa dal vento e spinta in avanti, finchè presentandosi un nuovo ostacolo, vi si accumula contro, ripetendosi così la formazione primitiva, ma con un rilievo alquanto più elevato. Le dune tendono quindi ad invadere l'interno della regione distruggendo edifizi, campi coltivati e persino villaggi; possono pure nella loro progressione ostruire la foce dei fiumi deviandone anche il corso, esser causa della formazione di paludi, ecc.

Un esempio tipico dell'avanzamento delle dune è dato dalla fig. 37, che indica la posizione della chiesa di Kunsen, sulla costa tedesca del Baltico, in diversi periodi del secolo scorso, nei quali fu successivamente libera e ricoperta dalle sabbie.

Se la spiaggia offre però un ostacolo notevole al progredire della sabbia, come un rilievo roccioso, un bosco, ecc., allora contro questo il materiale spinto dal vento si accumula, formando le cosidette *dune d'ostacolo,* di cui sono esempio le Arene Candide presso Finalmarina in Liguria. Medesima-

mente fu arrestata la progressione delle dune in qualche punto delle coste francesi con la costruzione di dune artificiali ad una certa distanza dal mare.

Notiamo poi che la sabbia più adatta alla formazione delle dune è quella di natura quarzosa, mentre lo è meno la calcarea; la prima infatti, oltre alla leggerezza, ha la proprietà di disseccarsi facilmente ai raggi solari e

Fig. 38. — Dune vaganti sulle coste prive d'acqua dell'Africa occidentale.

di essere anche la più ribelle alla vegetazione. La sabbia silicea inoltre difficilmente si cementa, mentre la cementazione, per azione delle acque di infiltrazione, è relativamente facile nelle sabbie calcaree.

Quello poi che avviene sulle spiaggie marine coperte dalla sabbia, dovuta all'azione delle onde, può evidentemente avvenire anche nei deserti, ove il terreno, per i fenomeni spiegati antecedentemente, è pure in molti punti eminentemente sabbioso.

Si hanno quindi due categorie di dune: le *marittime* o *di littorale* e le *continentali* o *di deserto*.

Regione tipica per le dune continentali è il Sahara, ove esse occupano all'incirca un decimo della superficie totale, formando catene di 70 a 80 km. di lunghezza; la loro progressione è però molto irregolare e local-

mente sembra mancar di tutto; la loro altezza è pure variabile, raggiungendo fin 200 metri sul litorale dell'Atlantico (fig. 38).

Le dune marittime sono molto abbondanti, con altezza e progressione variabile, sulle coste del Belgio, dell'Inghilterra, dell'Olanda, della Danimarca, della Germania ecc.: in Francia si notano già nei dintorni di Dunkerque e proseguono lungo il littorale atlantico, raggiungendo il loro massimo sulle coste della Guascogna. Quivi occupano una superficie di circa 90 mila ettari, sopra una lunghezza di quasi 200 km., la loro altezza raggiungendo 70 e fin 90 metri; secondo Brémontier il loro avanzamento sarebbe di 20 a 25 m. all'anno e ci fu un'epoca, nel 1700, in cui minacciarono la foce della Gironda e la città di Bordeaux.

La velocità di progressione delle dune, da 5-6 metri all'anno, può raggiungere cifre notevoli; così sulle coste della contea di Suffolk in Inghilterra (ove certe dune raggiungono l'altezza di 100 m.) si verificò una progressione di 80 m. ed eccezionalmente di 500 metri sulle coste della Brettagna.

Per arrestare la progressione delle dune si costruiscono palizzate, rilievi artificiali o meglio si ricorre alla piantagione di vegetali erbacei, viventi nella sabbia, come *carex arenaria, salix arenaria, arundo arenaria*, ecc. Queste piante rassodano superficialmente il terreno, impedendo od almeno rallentando l'azione di trasporto del vento; sul suolo poi consolidato dalle piante erbacee si possono in seguito eseguire altre piantagioni, per esempio di Conifere, che riescono quindi una ricchezza per regioni dapprima depauperate. Tale è appunto il caso delle coste della Guascogna.

Talvolta le dune possono arrestarsi naturalmente per il fenomeno della *petrificazione*, cioè della cementazione della sabbia in seguito alla circolazione della massa di acque calcaree od altrimenti mineralizzate. Il *tufo carparo* di alcune regioni del Lazio sembra provenire appunto dalla cementazione del materiale di antiche dune.

In Italia il fenomeno delle dune non ha l'importanza che riveste in altre regioni; ne esistono però, sebbene non di notevole altezza, in parecchi punti del litorale adriatico e mediterraneo, sia nel continente che nelle isole.

Sulle coste della Toscana e del Lazio le dune prendono localmente il nome di *tomboli*.

Loess. — Si indica con questo nome una speciale formazione, sovente molto estesa e potente, che s'incontra in parecchi punti dell'Europa e dell'America, ma specialmente dell'Asia.

Il loess si ritiene normalmente di origine eolica, per quanto il trovarsi esso non di rado in stretta relazione con i depositi glaciali pleistocenici, come ad esempio in Europa e nell'America del Nord, possa far talora dubitare di quest'origine.

Si presenta in forma di una terra o polvere finissima, argillosa o sabbiosa, con frammenti di minerali varii, in particolare di quarzo. Vi si riscontra inoltre abbondante carbonato di calcio, che può arrivare al 30 %, e dell'idrossido di ferro, che dà alla formazione un color variabile, oscillante dal brunastro, al giallo ed al rosso, in causa del fenomeno della rubefazione a cui si è accennato parlando della laterite.

Nel loess non si osserva mai una vera stratificazione; esso contiene frequenti detriti vegetali ed avanzi di animali terrestri (sovente di grandi mammiferi erbivori, come elefanti, rinoceronti, ippopotami, renne; o di carnivori, come lupi, iene, orsi, ecc.) con un'abbondante fauna fossile di molluschi terrestri. In parecchie località poi vi furono trovati avanzi dell'uomo preistorico, con manufatti, armi di selce, avanzi di cucina, ossa rotte ed in parte combuste e simili.

Fig. 39. — Gola nel loess della Cina.

La grande permeabilità del deposito non vi permette vegetazione arborea; è invece molto propizio alle coltivazioni erbacee, specialmente dei cereali.

La stessa permeabilità favorisce l'infiltrazione delle acque piovane, le quali, sciogliendo il carbonato di calcio e portandolo nelle parti profonde, lo depositano in seguito formando incrostazioni, arnioni e concrezioni, talvolta molto voluminose; queste concrezioni, messe allo scoperto dai fenomeni di erosione e di denudazione, assumono un caratteristico e curioso aspetto, che ha valso loro il nome di *puppattole* o *fantocci del loess*.

La porosità infine non permette si può dire la circolazione superficiale; i corsi d'acqua nelle regioni del loess scorrono in gole, ove sono incassati e limitati da pareti talora perfettamente verticali, tanto più che il materiale ha tendenza a fendersi appunto in senso verticale, facilitando quindi l'azione erosiva dell'acqua. La regione tipica del loess è la parte settentrionale della Cina, ove la formazione, studiata da Von Richthofen, si estende ad un'area non inferiore a 600.000 km², con una potenza localmente di oltre 600 m.; nel Chan-Si si spinge all'altitudine di 1800 m. e fino di 3000 m. nell'Utai-Chan.

Parecchi grandi fiumi vi hanno scavato dentro il loro letto e specialmente il fiume Giallo (*Hoang-ho*), le cui acque devono appunto il loro colore giallo limaccioso allo scorrere che fanno in mezzo ai depositi del loess.

Per la speciale erosione sopra indicata si osservano frequentemente forre profonde anche centinaia di metri e larghe alle volte pochi metri; il fondo di queste gole diventa un vero torrente di fango nei periodi di pioggia, ma viceversa viene usufruito come strada nei periodi di siccità (fig. 39).

L'interposizione nel loess della Cina di strati marnosi parallelamente alla superficie esterna interrompe l'azione erosiva dell'acqua e fa assumere alle pareti un caratteristico aspetto di gradinate naturali, sopra le quali gli abitanti stabi-

liscono delle coltivazioni, come anche in grandissimo numero vivono in grotte scavate artificialmente ai diversi livelli della formazione.

Un'altra zona di loess è l'altipiano messicano; quivi sul fianco di certe montagne il deposito pulverulento raggiunge una potenza di 100 e più metri, presentando un'apparente stratificazione dovuta all'interposizione di banchi di cenere proveniente dai numerosi vulcani della regione.

Depositi pure notevoli di loess si hanno nelle pampas dell'Argentina ed agli Stati Uniti nella regione delle praterie; in Europa (ove il loess non si trova generalmente al di sopra di 1500 m.) nella pianura del Danubio, nella valle del Reno, nell'Alsazia, in Svizzera, in parecchi punti della Francia, ecc. Il loess esiste pure in Italia, specialmente nella Lombardia e nel Piemonte, così nelle colline di Torino e nell'anfiteatro morenico di Rivoli, ove si deve esser formato durante le fasi interglaciali del periodo glaciale pleistocenico; pure al loess sembrano riferibili le cosidette *terre nere* della Russia (v. pag. 39).

Nei depositi di loess la parte superficiale è sovente decalcificata, mentre la parte profonda è invece molto ricca di carbonato di calcio, portatovi dalle acque di infiltrazione; alla parte superiore decalcificata si dà anche il nome di *lehm*.

Riguardo all'origine, il loess si ammette dovuto all'accumulo per opera del vento di polveri finissime, impalpabili, sopra regioni inizialmente steppose; così, secondo il Richthofen, il loess della Cina sarebbe dovuto a sabbie provenienti dai deserti dell'Asia centrale (come quello di Gobi). Secondo il Virlet analoga sarebbe l'origine del loess del Messico, come molto probabilmente lo è pure nel Piemonte.

Per gli altri depositi di loess indicati (valle del Reno, pianura del Danubio, valle del Rodano, ecc.) le opinioni non sono più così concordi. Infatti, tralasciando l'ipotesi di una formazione marina non suffragata per niente dai fatti, vi è chi spiega il loess come un deposito delle immense fiumane stabilitesi dopo il periodo glaciale; altri come fango prodotto dai grandi ghiacciai pleistocenici, portato molto lontano dal luogo di origine e disseminato da acque fluviali o lacustri; altri finalmente lo fanno derivare dall'azione del dilavamento operato dalle acque meteoriche sopra antichi sedimenti, ecc.

CAPITOLO II.

Azione delle acque di infiltrazione.

Penetrazione dell'acqua nell'interno del suolo. Falde acquee. — L'acqua che cade nella precipitazione atmosferica si risolve in tre parti: una (ed è la principale, perchè comprende circa i $^3/_4$ della quantità totale) ritorna nell'atmosfera per evaporazione; la seconda dà luogo alla circolazione superficiale, mentre la terza s'infiltra nel terreno, originando la circolazione sotterranea.

L'acqua filtra ovunque; o per permeabilità, nei terreni incoerenti (sabbie, alluvioni, ecc.), oppure per capillarità od insinuandosi lungo le fessure, sempre più o meno numerose, nelle rocce dette impermeabili, quali calcari, graniti, ecc. Di questa penetrazione dell'acqua in tutte le roccie, anche le più compatte, si hanno prove negli abbondanti stillicidi che sempre esistono nelle cavità sotterranee e nelle gallerie di miniera e nella cosidetta *acqua di cava*, che imbeve tutte le roccie (sebbene in quantità variabile secondo la natura mineralogica, la struttura, ecc.) e che ha una speciale

importanza, perchè le rende in generale, relativamente tenere e facilmente lavorabili.

Ad una certa profondità però l'infiltrazione dell'acqua si arresta, quando ciò venga ad incontrare uno strato impermeabile (argilloso, marnoso o simile), sul quale si espande formando una *falda acquea*.

La prima falda, generalmente posta a poca profondità, si dice *falda freatica* (da φρέαρ = pozzo, perchè in essa si aprono generalmente i pozzi); essa non corrisponde sempre all'esistenza di uno strato impermeabile, potendo l'arresto dell'acqua esser semplicemente dovuto all'imbeversi fino a saturazione della massa del terreno. La falda freatica poi si innalza ad un livello variabile, detto *livello idrostatico*, che nel suo andamento segue abbastanza bene la configurazione esterna del suolo ed è anche determinato dalla quantità della pioggia caduta, ecc.

Al disotto della falda freatica, le acque di infiltrazione, seguendo gli strati impermeabili o le fessure delle rocce, si abbassano fino a differenti livelli, andando a formare le *falde profonde*.

Sorgenti. — Il ritorno alla superficie delle acque penetrate nel sottosuolo costituisce le *sorgenti*, dovute al fatto che il livello della falda acquea per una causa qualsiasi viene raggiunto da una depressione del suolo; l'origine delle sorgenti è quindi in stretto rapporto con le condizioni tettoniche della regione.

Così si potrà avere l'emergenza della falda acquea in seguito a fenomeni erosivi che asportino lo strato ricoprente la falda stessa, in modo che questa venga ad affiorare in un punto, ove si formerà una sorgente; oppure saranno strati orizzontali alternativamente permeabili ed impermeabili, dei quali ogni strato permeabile può comprendere una falda d'acqua, che originerà una sorgente, quando tali strati vengano ad essere incisi sui fianchi di una collina od in una valle. Se gli strati così incisi saranno inclinati, le sorgenti si formeranno soltanto da una parte (cioè sul versante nel quale gli strati pendono verso la valle), mentre nel caso precedente si potevano avere sopra i due versanti (fig. 40).

In una valle dovuta invece a sinclinale (cioè in strati a disposizione concava) si avranno nuovamente e facilmente sorgenti sopra i due versanti, mentre se corrisponde ad un'anticlinale (strati convessi) sarà difficile che si abbiano sorgenti.

Le rotture, tanto più se con spostamento degli strati, avranno influenza sul regime idrico sotterraneo, permettendo ad una falda di innalzarsi anche fin alla superficie del suolo (donde una sorgente), o di confondere le sue acque con quelle di una falda superiore, oppure di discendere, talora a grande profondità, attraverso a strati impermeabili.

Per quanto discendano a poca profondità, le acque di infiltrazione vengono a trovarsi generalmente in una zona, ove la temperatura esterna non fa più sentire la sua influenza (zona che è circa a 10 metri di profondità nei nostri paesi) e dove la temperatura corrisponde alla media annua del luogo. Questa è appunto la temperatura delle sorgenti normali, e spiega

il senso di caldo che dànno le loro acque durante l'inverno e viceversa il loro senso di fresco durante l'estate.

Se però, come si è detto sopra, l'acqua seguendo una fessura si abbassa di molto nella crosta terrestre, ritornando alla superficie, essa avrà una

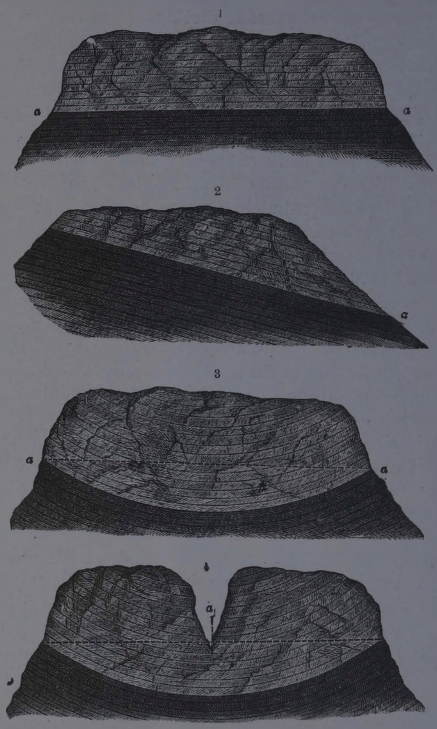

Fig. 40. — Diversi modi di origine delle sorgenti.

a a, Sorgenti. - 1, Strato acquifero orizzontale. - 2, Strato acquifero inclinato. - 3, Strato acquifero fatto a conca. - 4, Valle o spaccatura con sorgenti sui fianchi. — La roccia superiore è permeabile e quella inferiore impermeabile.

temperatura più o meno elevata in rapporto con la profondità a cui è discesa, e quindi con il calore terrestre, cioè con il *grado geotermico*.

Si potrà avere così una *sorgente termale*, la quale inoltre sarà *minerale*, contenendo tanta sostanza minerale disciolta da averne alterate le condizioni di sapore, di odore e talora anche di colore; la mineralizzazione pro-

viene dal fatto che durante la sua penetrazione nell'interno della crosta terrestre l'acqua viene a contatto con sostanze solubili, essendo ancora il suo potere solvente aumentato dalla temperatura. Delle acque minerali e termali sarà però parlato in seguito più ampiamente, bastando per ora accennare che le acque termali si possono distinguere in *relative* ed *assolute*.

Le prime sono quelle che hanno temperatura semplicemente superiore alla media annuale della località ove scaturiscono, mentre le assolute hanno temperatura superiore alla media delle località più calde del globo. Ve ne sono così che raggiungono temperature di 70°-80° e anche più.

La temperatura dell'acqua, oltre che dalla sua provenienza da profondità, può conseguire dal suo incontrarsi e mescolarsi con vapori o acque calde circolanti nell'interno della crosta terrestre e giungenti dal basso; può pure derivare da reazioni chimiche oppure dalla vicinanza di centri vulcanici. Le sorgenti termali sono quindi indipendenti dall'altitudine e se ne incontrano a grandi altezze; così di 80° nel Tibet, a oltre 4500 m. sul livello del mare; sopra i 4000 m. nella Cordigliera, ecc.

Le sorgenti normali hanno le loro acque *potabili*, per quanto non prive mai di sostanze minerali disciolte (cloruro di sodio, silice, carbonato e solfato di calcio, ecc.), la cui quantità è in rapporto con la natura litologica del terreno ove circola la falda alimentatrice, essendo *pure* quelle che attraversano rocce cristalline o, in generale, formazioni alluvionali e moreniche, mentre in una regione calcarea le acque saranno *crude e selenitose* in terreni gessiferi.

La potabilità di un'acqua è anche in stretto rapporto con la sua purezza batteriologica; bisogna cioè che non contenga germi o microrganismi (portati in generale da infiltrazioni superficiali), i quali la possono rendere inquinata per quanto chimicamente pura.

Per la presenza dei detriti di falda o di materiali alluvionali le sorgenti non si trovano sempre nel punto ove dovrebbero sgorgare per il semplice motivo geologico da cui hanno origine. L'acqua può infatti percorrere sotto i detriti un tratto più o meno considerevole e la sorgente esser quindi lontana dal punto di affioramento dello strato, oppure, in un terreno cristallino compatto, dalla fessura che determina la sua esistenza.

In questo percorso l'acqua può essere soggetta ad inquinazione, perchè circola a poca profondità sotto materiali permeabili e perchè le abitazioni sono generalmente radunate sui fianchi delle valli ricoperti dal manto alluvionale o detritico.

A seconda dell'ampiezza del loro bacino di alimentazione, e quindi a seconda che provengono da falde più o meno profonde, le sorgenti possono essere *perenni* o *temporanee*, come anche per condizioni speciali del loro condotto interno (disposto a modo di sifone) possono presentare il fenomeno dell'intermittenza.

Notiamo infine che non si hanno soltanto sorgenti *subaeree*, ma che ne possono anche esistere di *subacquee*, sul fondo cioè di laghi o del mare. Citiamo ad esempio la polla di Cadimare nel golfo della Spezia (che for-

nisce buona acqua potabile), parecchie del porto di Monaco, altre in prossimità dell'isola di Vulcano, nel Golfo Persico, ecc. (1).

Pozzi ordinari e artesiani. — *Pozzi* si dicono escavazioni artificiali mediante le quali l'uomo va a raggiungere una falda acquea (generalmente poco profonda), la quale viene appunto per questo fatto chiamata *falda freatica*. Da questa falda però l'acqua non s'innalza naturalmente, ma deve essere attinta con secchie o pompe, essendo questo secondo metodo più conveniente per la minor probabilità di inquinazione dell'acqua.

Quando però uno strato permeabile si abbassa al disotto di uno strato impermeabile, quest'ultimo trattiene le acque sotto una certa pressione e le obbliga a discendere fino a formare una falda sotterranea senza uscita.

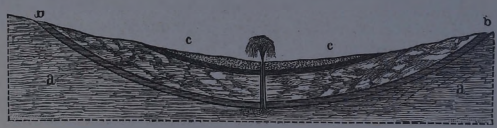

Fig. 41. — Rappresentazione schematica di un pozzo artesiano.
aa, Strato inferiore impermeabile. - *bb*, Strato acquifero. - *cc*, Strato superiore impermeabile.

Se allora si fora lo strato impermeabile, le acque imprigionate al disotto, obbedendo alle leggi della pressione idrostatica, si innalzano lungo il condotto e potranno anche zampillare alla superficie (fig. 41).

Su questa speciale disposizione degli strati sono basati i pozzi detti *trivellati* od *artesiani*, dalla provincia dell'Artois, in Francia, ove furono scavati nel XII secolo; essi erano però già praticati in Italia nel Modenese (donde anche il nome di *pozzi modenesi*) e fin da remota antichità nella Cina.

Una zona caratteristica, fra molte altre, per i pozzi artesiani è rappresentata in Italia dall'Emilia; in molti luoghi di quella regione furono trivellati pozzi artesiani per l'alimentazione idrica dei Comuni. Così a San Martino e San Lazzaro Parmense, a Castelfranco, a San Giovanni in Persiceto, Modena, ecc.

La disposizione a conca degli strati nel bacino di Parigi vi rende tipico il fenomeno dei pozzi artesiani e molteplici sono quelli che sono o furono in attività nell'interno della città. Così il pozzo di Grenelle raggiunse la zona acquifera a 548 metri; in origine, nel 1842, la portata era di 3200 metri cubi all'ora e l'acqua saliva fino a 73 metri fuori dal suolo con una temperatura di 28°, superiore cioè di 17° alla media annua della città. Però in seguito, specialmente per l'apertura di altri pozzi a non notevole di-

(1) Sembra che già i Fenici conoscessero queste sorgenti sottomarine e sapessero valersene per i loro usi, attingendovi acqua per mezzo di una campana terminante inferiormente in un lungo tubo di cuoio.

stanza, quello di Grenelle andò man mano impoverendosi ed attualmente non è più utilizzato.

Il pozzo di Passy, forato nel 1861, dava allora 20 mila metri cubi all'ora; attualmente non ne dà più che 5000. Da una profondità di 580 m. l'acqua sale fino a 78 metri fuori del suolo.

Gli altri pozzi artesiani aperti in diversi punti di Parigi raggiunsero la falda d'acqua zampillante a profondità oscillante fra 550 e 600 metri.

Ricordiamo ancora come parecchie zone del Sahara algerino furono rese fertili ed abitabili con l'apertura di pozzi artesiani, essendovi ad una non grande profondità ampie zone di acqua naturalmente zampillante.

Volendo adoperare l'acqua di una sorgente come potabile, bisogna anzitutto cercare che il suo punto di emergenza sia a monte delle agglomerazioni umane, i cui residui ed infiltrazioni potrebbero inquinare l'acqua a valle; tale posizione della sorgente è anche utile quando si voglia condurre l'acqua al centro abitato per semplice forza di gravità.

L'acqua della sorgente va anche messa al riparo (con tubature, canali, ecc.) dalle acque superficiali e dalle falde più vicine all'esterno, aventi probabilità di essere inquinate; è quindi anche opportuno non pigliarla dopo che ha circolato in mezzo a detriti, ma, possibilmente, captarla al suo punto di emergenza geologica. Per i pozzi normali le cause di inquinazione sono ancora maggiori; è quindi conveniente scavarli in modo che non siano alimentati dalla prima falda, andando invece a cercare una seconda o terza falda, che sia più profonda e quindi meglio protetta.

I pozzi poi dovrebbero essere soppressi in vicinanza alle abitazioni, aprendoli almeno a 100-200 metri dalle case e, nei casi di possibili infiltrazioni, istituendo una zona di protezione sopra un raggio di almeno 25 metri.

Fenomeni carsici. — L'acqua circolante nell'interno della crosta terrestre può essere così abbondante da originare veri fiumi sotterranei, mentre all'esterno, per la facile infiltrazione in un terreno anche impermeabile ma ampiamente fessurato, si può invece avere siccità e mancanza di vegetazione.

Tale fenomeno di circolazione interna si verifica specialmente nelle regioni calcaree e dolomitiche, ove fu l'acqua stessa a scavare il letto sotterraneo, esagerando con la sua azione solvente le fessure in cui dapprima scorreva.

L'alimentazione dei corsi sotterranei viene operata ordinariamente per mezzo di cavità superficiali, prodotte dall'allargamento di fessure o da franamento delle vôlte di caverne sottostanti; queste aperture si presentano in generale sotto forma di imbuti più o meno regolari o di voragini aventi anche parecchie diecine di metri di diametro. Tali aperture prendono nomi varii, come *catavotre* in Grecia, *doline* e *foibe* nell'Istria, *inglutidor* nel Friuli, *sprugole* in Toscana, ecc.

Ai fenomeni di erosione sotterranea nelle regioni calcareo-dolomitiche fu dato il nome di *carsici*, perchè sono tipici del Carso, regione dove si trova la famosa grotta di Postumia, di cui si parlerà in seguito. Nell'Istria (ove sono magnifiche grotte) il fiume Reca, che nasce a nord di Fiume, dopo 80 chilometri di percorso superficiale, scomparisce in una voragine

presso San Canziano per ricomparire poi a formare il Timavo, a breve distanza dal mare presso Trieste.

Altre regioni con importanti fenomeni carsici si hanno in Francia, specialmente nelle Causses (dipartimenti della Lozère e dell'Aveyron), ove le aperture esterne prendono il nome di *avens;* questi hanno una media profondità di 100-120 metri, con un massimo di 200.

Nelle regioni carsiche si può pure avere formazione di laghi caratteristici, ai quali già fu accennato precedentemente (vedi pag. 46).

Fenomeni erosivi. Grotte e caverne. — L'acqua penetrata nell'interno del suolo esercita, come già si è visto, la sua azione di erosione e di soluzione, azione che è tanto più intensa quanto più le rocce incontrate sono facilmente erodibili e solubili, e sempre fortemente agevolata dalla presenza di spaccature e fessure, nelle quali l'acqua si insinua.

Conseguenza del fenomeno è la formazione di cavità sotterranee, con dimensioni e forme molto variabili e con decorso irregolarissimo, a cui si dà il nome di *grotte* (fig. 42).

Generalmente le grotte sono più sviluppate in lunghezza che non in altezza e larghezza e quando si hanno grandi cavità, esse sono più comunemente indicate con il nome di *caverne*. Le grotte quindi formano speciali corridoi irregolari, che presentano frequenti restringimenti dovuti a diminuzione dell'azione erosiva, oppure ad una maggior resistenza opposta a tale azione dalle rocce attraversate.

Dato il modo di formazione, è evidente che fra le varie rocce il calcare, così ampiamente diffuso nella crosta terrestre, è quello che più facilmente si presta ad originare grotte e caverne, poichè le acque di infiltrazione contengono sempre disciolta in quantità più o meno grande dell'anidride carbonica, la quale trasforma il carbonato di calcio (che sarebbe insolubile) in bicarbonato, rendendolo così solubilissimo.

Lo stesso fenomeno di soluzione del carbonato, conseguentemente alla sua trasformazione in bicarbonato e del successivo deposito per evaporazione del solvente, perdita dell'anidride carbonica e ritorno a carbonato del bicarbonato, spiega pure tutti i fenomeni di incrostazioni e concrezioni, fra cui importanti le stalattiti e le stalagmiti, che sono una caratteristica delle grotte, le quali anzi con il tempo possono da questi successivi depositi essere nuovamente riempite.

È però notevole che se ancora attualmente il fenomeno dell'erosione per azione delle acque sotterranee si manifesta intensamente in molti luoghi, esso nondimeno dovette essere più attivo in altri tempi, indicandoci una maggiore energia nell'azione dell'acqua in rapporto con condizioni climateriche diverse dalle attuali, probabilmente per un eccesso di precipitazione atmosferica e maggior quantità di anidride carbonica.

In Italia, dato il grande sviluppo delle formazioni calcaree, si incontrano grotte in molte regioni; così nelle Alpi Orientali, nelle Marittime, nell'Appennino ligure, nell'Appennino centrale, ecc.

Fra le grotte conosciute, quella di maggior estensione sembra essere la

cosidetta *Grotta del Mammut,* nel Kentucky (Stati Uniti); essa fu esplorata con oltre duecento gallerie poste a diversi livelli ed aventi uno sviluppo lineare di circa 350 km.; veri laghi e fiumi s'incontrano nei diversi piani.

Rinomata è pure, presso Trieste, la Grotta di Postumia (fig. 42), in cui scorre il fiume Piuca, la cui portata può permettere la navigazione

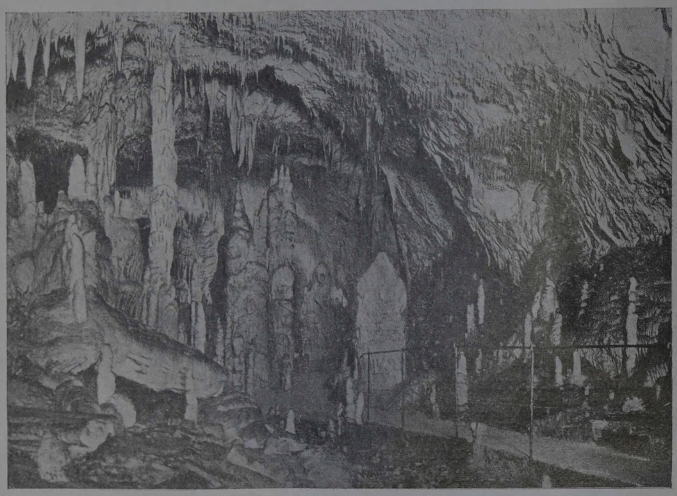

Fig. 42. — Grotta di Postumia.

con barche; le gallerie hanno uno sviluppo lineare di parecchie decine di chilometri e le principali illuminate a luce elettrica sono percorse da una piccola ferrovia a scartamento ridotto per comodità dei visitatori.

Oltre che dall'azione delle acque sotterranee si possono avere caverne originate dall'accumulo di detriti in seguito a frane e scoscendimenti, oppure, ma con origine affatto diversa, nelle regioni vulcaniche; di queste sarà parlato a suo tempo.

Fenomeni di deposito. Incrostazioni e concrezioni: stalattiti e stalagmiti. — Sappiamo già che le acque della circolazione sotterranea contengono sempre disciolte, in quantità più o meno grande, sostanze minerali, fra cui principalmente cloruro di sodio, solfato di calcio, carbonato di calcio, di magnesio, di ferro, carbonati alcalini, silice, ecc.

Ora queste acque finiscono generalmente per ritornare alla superficie del suolo, originando le sorgenti normali e minerali; queste ultime, in seguito al modificarsi delle loro condizioni fisiche di temperatura e di pres-

sione, depositano parzialmente o totalmente il materiale tenuto disciolto, dando luogo alle *concrezioni* ed alle *incrostazioni,* avendosi queste ultime quando il deposito si fa rivestendo rocce, pareti, avanzi animali e vegetali ed in molti casi anche vegetali viventi, come alghe, muffe, muschi, ecc.

Gli stessi fenomeni, benchè più lentamente ed in minor grado, si possono anche avere da talune acque potabili, poichè queste contengono pure sali disciolti, il cui deposito spiega le frequenti incrostazioni osservabili sulle pareti delle caldaie, delle condutture, dei serbatoi e simili.

Dove il fenomeno acquista però notevole importanza si è nelle località ove circolano acque ricche in gesso o meglio dove sono acque calcaree: quivi, in seguito all'evaporazione o alla diminuzione della temperatura e talora anche della pressione, l'eccesso di anidride carbonica si libera ed il bicarbonato, ricondotto allo stato di carbonato e quindi reso insolubile, si deposita.

A questo processo è dovuto il formarsi delle *stalattiti* e *stalagmiti* (vedi fig. 42) e l'incrostarsi delle pareti e del pavimento nelle grotte e nelle caverne; sovente anzi queste incrostazioni ricoprirono avanzi dell'uomo primitivo o di animali che in esse cercavano ricovero e che furono così preservati da una completa decomposizione.

Le *stalattiti* (dal greco σταλάξω, che significa gocciolare) si presentano in forma di masse generalmente coniche e di fasci di coni allungati, più o meno voluminosi e regolari, che pendono con il vertice in basso dalla vôlta delle grotte e delle caverne.

Il meccanismo di queste formazioni, dovute al depositarsi della sostanza minerale tenuta disciolta nelle acque di infiltrazione, è semplice. Ogni goccia d'acqua filtrante attraverso il foro od alla fessura della vôlta della grotta, prima di cadere, permette, in seguito a parziale evaporazione, che alla sua superficie si formi un tenuissimo velo di particelle solide, velo che essa stessa rompe cadendo e riduce ad un anello che resta aderente alla vôlta, presso la base della goccia dalla quale venne prodotta.

A questo primo anello un'altra goccia ne aggiunge un secondo; poi se ne forma un terzo, ecc., per cui dall'alto verso il basso va formandosi e crescendo una serie di depositi anulari, che aumentano rapidamente per il fatto che la loro sostanza agevola, per attrazione, il deposito di quella ancora disciolta nelle gocce che si vanno succedendo, come pure perchè la stalattite appena si sia ingrossata può far confluire a sè le filtrazioni immediatamente contigue e svilupparsi perciò con l'intervento efficace di copia sempre maggiore di acqua mineralizzata.

Mentre dall'alto delle cavità si vanno formando le *stalattiti,* l'acqua avente ancora sostanza minerale in soluzione cade sul pavimento della grotta e vi evapora, innalzando, con il deposito della sua sostanza minerale, delle masse concrezionate più irregolari, disposte con il vertice verso l'alto e dette *stalagmiti.* Queste sovente raggiungono le stalattiti ed allora si formano colonne, anche molto voluminose.

Esaminate nell'interno, le stalattiti presentano struttura fibro-raggiata e possono avere nel mezzo un canale, dovuto al deposito dei successivi anelli,

attraverso al quale avviene la filtrazione dell'acqua. Nelle stalagmiti invece si osserva tipica struttura concrezionata.

Quando si hanno acque calcaree che escono all'esterno, anche in questo caso l'anidride carbonica si libera ed il carbonato di calcio si deposita all'intorno, specialmente sopra alghe, muschi, erbe, ecc., le quali oltre al fornire una superficie evaporante maggiore, agiscono pure nel facilitare la preci-

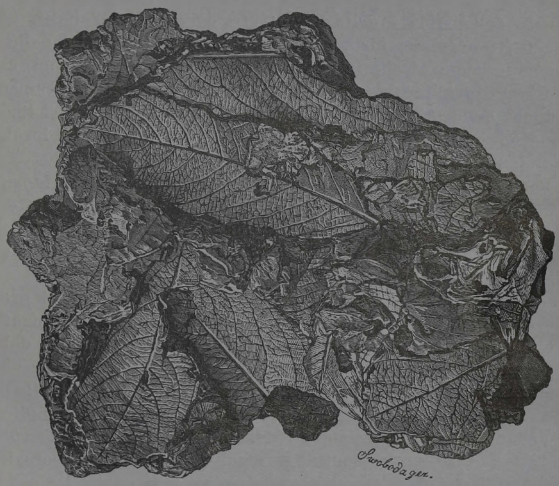

Fig. 43. — Travertino di Tivoli con impronte di foglie.

pitazione del carbonato con la loro avidità per l'anidride carbonica. Dall'azione di queste acque si ha un deposito leggero, cavernoso, di poca consistenza e possono essere incrostate foglie, frutti, rami ed anche insetti, larve, chiocciole e simili, di cui resta quindi il modello esterno quando sia scomparsa la sostanza organica.

Nelle regioni di acque fortemente calcaree si ha così formazione del *travertino*, che si origina specialmente in zone di vulcanismo, anche non più attivo, avendosi come conseguenza di esso innalzamento della temperatura ed abbondanza di anidride carbonica, che favoriscono la produzione delle acque calcaree; tale è il caso di molte località dell'Italia centrale, ove il travertino si forma in modo particolare laddove l'acqua scorre con un letto accidentato da salti e cascate, che concorrono al deposito del carbonato di calcio, provocando l'evaporazione e la messa in libertà della anidride carbonica.

Il travertino costituisce un buon materiale da costruzione, poroso, leggero, in cui è facilmente riconoscibile che avvenne incrostazione sopra

avanzi vegetali, quali alghe, muffe, ecc., di cui si è già indicata l'avidità per l'anidride carbonica.

Il deposito del travertino può essere molto rapido e raggiungere notevole potenza; citiamo a questo proposito i dintorni di Tivoli, presso Roma, che diede appunto il nome al travertino (*lapis tiburtinus* dei Romani), ove la formazione raggiunge localmente una potenza non inferiore ai 200 metri. Quivi non è raro di incontrare frutti, foglie, rami, animali inferiori, ecc., incrostati di calcare (fig. 43); analogamente i cosidetti *confetti di Tivoli* non sono altro che ciottolini incrostati più o meno fortemente da carbonato di calcio, in modo da assumere forma tondeggiante, simile appunto a quella dei confetti.

Formazioni travertinose occorrono in molti luoghi; possiamo così ricordare ancora Saint-Allyre presso Clermont-Ferrand, nella quale regione di antico vulcanismo della Francia centrale il fenomeno, per quanto sopra scala minore che nei dintorni di Roma, è nondimeno affatto tipico.

Fig. 44. — Struttura oolitica o pisolitica.

Grandiose incrostazioni calcaree si hanno pure nell'Yellowstone Park degli Stati Uniti; ad Hamman-Mes-Koutine, presso Costantina, in Algeria; a Panbouk-Kelessi presso Smirne nell'Asia Minore, ove le acque degli antichi bagni termali di Jeropoli hanno costruito un deposito calcareo tale da aversi una cascata alta 100 metri e larga 4 km. con un ponte naturale, ove il materiale è simile ad alabastro.

Al fenomeno delle incrostazioni si collega pure l'origine delle *pisoliti* ed *ooliti*, con la relativa *struttura oolitica* o *pisolitica*, di molti minerali, e che è dovuta alla cementazione di moltissimi globetti, per lo più della grossezza di un pisello o più piccoli e somiglianti a uova di pesci (fig. 44).

Questi globetti si originano nelle acque correnti sopratutto ove sono cascate e dove l'acqua contiene disciolta sostanza minerale, anche in questo caso particolarmente carbonato di calcio, il quale si deposita per evaporazione dell'acqua, disponendosi a poco a poco in straterelli concentrici intorno a granelli di sabbia o detriti di varia natura. Raggiunta che hanno una certa grossezza, questi globetti, che dapprima potevano essere trasportati dall'acqua, si depositano sul fondo della corrente e spesso vengono alla loro volta cementati insieme, originando i calcari detti appunto *oolitici* o *pisolitici*. La stessa struttura si incontra frequentemente nella limonite e nella bauxite.

Una formazione analoga a quella del travertino si può aver lungo certe spiagge per azione dell'acqua marina; quivi però il fenomeno di incrostazione è accompagnato dall'inglobamento nel materiale calcareo di ghiaiette e altri detriti eterogenei. Tale è l'origine della *panchina* dei dintorni di Livorno, ove è adoperata come materiale da costruzione.

Per quanto le incrostazioni e le concrezioni dovute al carbonato di calcio siano ovunque le più comuni ed abbondanti, altre però se ne possono avere prodotte da qualsiasi sostanza che sia solubile nell'acqua; così sono frequenti quelle di ossido idrato di ferro e quelle di silice (calcedonio e quarzo), che possono anzi raggiungere notevole potenza. Ricordiamo a questo proposito la grotta di Urseren in Isvizzera, dove le pareti non soltanto sono incrostate, ma ben anche tappezzate da cristalli di quarzo lunghi fin un metro e più.

Nelle gallerie di miniere è comune il fenomeno di incrostazioni che rivestano le pareti e le armature di legno; si hanno così incrostazioni di solfato di ferro e di limonite nei giacimenti di pirite o di altri minerali di ferro; di carbonato basico di rame (malachite) e di solfato nei giacimenti cupriferi di carbonato e silicato idrato di zinco nei depositi di minerali di zinco ecc.

Altri casi sono più rari, come quello di incrostazioni di blenda (solfuro di zinco) sulle armature di vecchie gallerie di miniera nella Prussia Renana; di solfuro di piombo incrostante carbone di legno in una miniera della Carniola abbandonata fin dal IX secolo; incrostazioni di idrosilicato di alluminio su oggetti caduti in un bacino dell'epoca romana a Saint-Honoré-les-Bains, nella Niévre, in Francia, ecc.

Qualche volta la formazione non è più soltanto conseguenza di semplice deposito o di fenomeni di riduzione, come quello sopra accennato di blende e galene, ma è accompagnato da reazione chimica; così Daubrée trovò ad Aix-les-Bains, sulle pareti della conduttura calcarea delle acque minerali, incrostazioni di gesso cristallizzato dovuto a reazione fra il carbonato di calcio e l'idrogeno solforato, di cui sono ricche le acque della località.

Quando poi le acque mineralizzate vengono a circolare frammezzo a materiali detritici, i frammenti possono dal deposito della sostanza minerale esser cementati insieme, risultandone rocce clastiche o di aggregazione, quali i *conglomerati*, le *brecce* e le *arenarie*, di cui sarà parlato in seguito nella Litologia.

Frane e scoscendimenti. — Sono movimenti di terreno più o meno superficiali e di intensità molto variabile, che abbiamo visto già poter essere provocati dall'azione del gelo e disgelo, ma che sono anche sovente dovuti alle infiltrazioni dell'acqua. Infatti nei terreni poco coerenti, sabbiosi, argillosi o simili, l'acqua della precipitazione atmosferica si insinua fra strato e strato e, se abbondante, finisce per formare un velo che produce una soluzione di continuità; venendo a mancare così l'aderenza, uno o più strati scivolano verso il basso, producendo appunto frane.

Negli stessi terreni, ancorchè non a stratificazioni evidenti, si possono pure avere frane per altra causa; l'acqua della pioggia cioè imbibisce il materiale superficiale e lo rende quindi scorrevole ed instabile, tanto più che esso è reso più pesante dalla imbibizione stessa. Questa è la causa di molte frane nelle formazioni delle *argille scagliose* dell'Appennino.

Se le frane sono limitate a brevi tratti terrosi vengono indicate anche

con il nome di *smottamento* e non hanno allora gravi conseguenze, mentre in altri casi le frane possono essere causa di disastri immensi.

Così a Rossberg nella Svizzera, in una regione costituita da conglomerati poggianti sopra argille, si ebbe un rammollimento di strati argillosi in

Fig. 45. — Lo scoscendimento di Elm dell'11 settembre 1881 (dall'Heim).

seguito a pioggie prolungate ed il 2 settembre 1806 improvvisamente precipitò una massa di conglomerato lunga 1500 m., larga 320 e potente 32, seppellendo tre villagi e causando la morte di centinaia di persone. Nel 1771 una parte del Monte Spitz precipitò nel letto del Cordevole formando uno sbarramento, dietro il quale si accumulò l'acqua del fiume originando il lago di Alleghe, di cui fu parlato a suo tempo. Ricordiamo ancora le frane disastrose di Elm l'11 settembre 1881 (fig. 45), quella di Airolo il 27 dicembre 1898, ecc.

Pure all'azione delle acque di infiltrazione, ma in seguito a fenomeni di soluzione, sono dovuti i frequenti scoscendimenti e sprofondamenti del suolo nelle regioni del Carso ed in generale delle regioni calcareo-dolomitiche.

Depositi ferruginosi. Alios. — In certi terreni prevalentemente sabbiosi, come sarebbero, ad esempio, quelli delle lande della Francia sud-occidentale, pianeggianti e poco accidentati, l'acqua filtra nell'interno del suolo originando, ad

una profondità generalmente debole, ma pressochè costante, una falda, in cui si raccolgono i sali di ferro sciolti alla superficie.

Queste soluzioni ferrugginose subiscono con il tempo una ossidazione lenta, per cui si origina a poco a poco del sesquiossido idrato di ferro o limonite, la quale, depositandosi al di sotto della falda, forma concrezioni, arnioni od anche uno strato più o meno continuo. Altre volte la limonite cementa i granuli del terreno sabbioso, risultandone una speciale arenaria ferrugginosa, che viene indicata con il nome di *alios*.

Lo strato di limonite o di *alios* arresta in breve le infiltrazioni provenienti dalla superficie; il terreno diventa paludoso e si rende impossibile qualsiasi vegetazione, mentre invece sul suolo acquitrinoso così risultante si stabilisce rapidamente una vegetazione di erbe, eriche, ginestre e altre piante (come gli Sfagni, fra i Muschi), che possono vivere in un ambiente esuberantemente ricco di humus.

L'abbondante sviluppo degli Sfagni, specialmente laddove vi sono nella landa depressioni ove può radunarsi dell'acqua, oppure nei punti più particolarmente umidi di essa, dà origine a delle vere torbiere, comuni appunti nella Guascogna e, pure in Francia, in certe zone del Massiccio Centrale e della Brettagna.

Nella Germania del Nord si hanno parimente in terreni sabbiosi le condizioni favorevoli al fenomeno, con torbiere e formazione nell'interno del suolo del così detto *ortstein*, che si può considerare come l'equivalente dell'*alios*.

In terreni analoghi della Scozia, nei cosidetti *highlands*, si forma pure un deposito ferruginoso impermeabile, conosciuto con il nome di *moorland pan*.

CAPITOLO III.

Azione delle acque superficiali.

Acque di dilavamento o acque selvagge. — Con questo nome si indicano le acque della precipitazione atmosferica scorrenti senza un letto definito sopra i fianchi dei rilievi montuosi, laddove vi sia pendenza abbastanza forte e suolo poco permeabile.

Tali acque hanno una notevole azione denudatrice ed erosiva sopra i materiali mobili superficiali, asportandoli e trascinandoli verso il basso, mentre, come conseguenza, vengono messe allo scoperto le rocce in posto sottostanti. Le acque selvagge quindi non solo rendono impossibile la vegetazione, ma facilitano inoltre ed accelerano l'azione degradatrice degli agenti atmosferici e specialmente del gelo e disgelo.

S'intende facilmente a questo proposito il danno che per le regioni montuose ha portato e porta il disboscamento, poichè le piante arboree con le loro radici trattengono il terriccio e lo consolidano, opponendo una notevole resistenza all'azione del dilavamento e favorendo l'infiltrazione delle acque piovane.

Nei terreni poco coerenti (alluvionali, morenici, di detrito di falda, ecc.) costituiti da argille, sabbie e minuti detriti contenenti impigliati nella loro massa ciottoli voluminosi e frammenti rocciosi, l'azione delle acque selvagge porta sovente alla caratteristica formazione delle *piramidi di erosione* e dei *funghi di pietra*.

L'acqua, scorrendo superficialmente, asporta il materiale minuto e quindi più leggero, facendo sporgere ed anche mettendo completamente

allo scoperto i massi e ciottoli. Continuando l'azione denudatrice, questi difendono più o meno dall'erosione il terreno sottostante, risultandone così

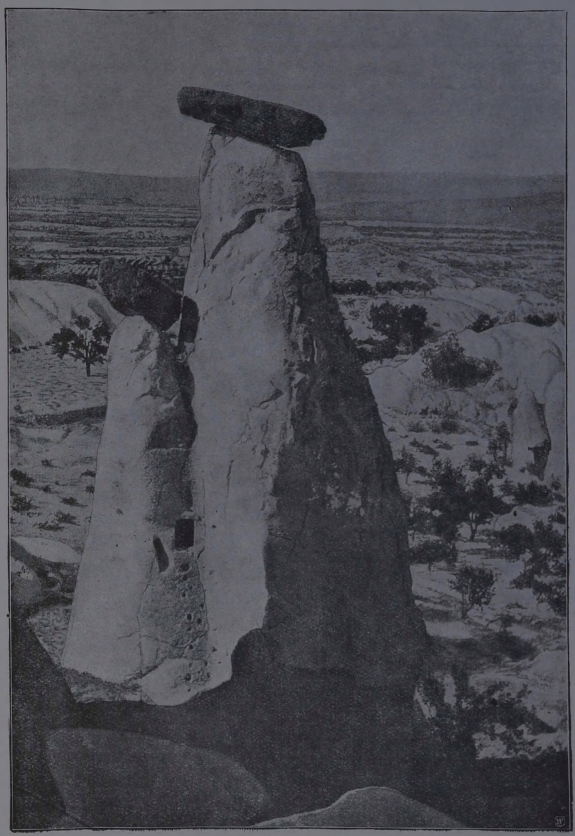

Fig. 46. — Piramidi di erosione presso Urgüb nell'Asia Minore (secondo R. Oberhummer).

speciali formazioni in forma di colonne, prismi, piramidi, ecc., il cui vertice è occupato appunto dal masso protettore, donde anche il comune aspetto di enormi funghi (fig. 46).

Queste piramidi e funghi hanno per lo più esistenza effimera, essendo facilmente distrutti dall'azione dell'acqua che ne erode la base; il masso che stava al vertice precipita allora in basso, fermandosi poi in un punto ove può provocare una nuova analoga formazione.

Fig. 49. — Erosioni nel tufo del pianoro di Markagunt, altipiano del Colorado (America Settentrionale). Secondo C. E. Dutton.

Una regione classica per le piramidi di erosione è rappresentata dalla morena di Ritten presso Bolzano, ove sono numerosissime e raggiungono fin 30 metri d'altezza; il più bell'esempio del genere sembra essere quello del Rio Grande nel Colorado, ove alcune piramidi si innalzano fino a 100 metri.

In parecchi punti della regione alpina si possono osservare di queste formazioni; così nell'alta valle della Dora Riparia (Cesana, Beaulard), ove sono costituite da materiali morenici; a Villar San Costanzo, presso Dronero, ove corrispondono a detriti di falda provenienti da gneiss e mica-schisti, ecc.

Anche dove stanno rocce compatte, ma fessurate verticalmente (ad esempio nelle arenarie) si può aver formazione di speciali prismi, piramidi,

pilastri, ecc., varii di forma e di dimensioni, dovuti all'azione erosiva dell'acqua, che si insinua nelle fessure. Il fenomeno si può osservare in modo tipico a Pocapaglia in provincia di Cuneo.

Nelle regioni di gesso, calcari, dolomie ed altre rocce similmente solubili o facilmente erodibili le acque selvagge fanno pure sentire notevolmente la loro azione provocando la formazione di incavature, solchi, incisioni, talvolta fortemente accentuate (fig. 47).

Torrenti. — Le acque di dilavamento, unendosi a quelle delle sorgenti, vengono a radunarsi sul fondo della valle, ove dànno luogo ad una corrente o *torrente* a decorso generalmente breve e la cui portata è naturalmente variabile, poichè a periodi di siccità completa ne succedono altri durante i quali l'acqua abbondante forma un corso violento, con velocità tale da permettere azioni meccaniche grandiose.

L'azione di un torrente è quindi ordinariamente distruttrice, specialmente nel primo tratto, ove è massima la pendenza del letto, la cui media è superiore al 10%; quindi, anche tralasciando il caso in cui il torrente scorra sopra rocce solubili o facilmente erodibili, esso tende sempre a scavare ed abbassare il proprio letto e a degradarne le sponde, sia per l'azione diretta dell'acqua sia specialmente per quella dei materiali spostati lungo il corso. È bene a questo proposito tener presente che la velocità delle acque torrenziali può raggiungere 14 metri al secondo, mentre è già sufficiente una velocità di 4 metri per produrre l'erosione delle rocce più compatte e dure.

Però laddove il letto del torrente si allarga e ne diminuisce la pendenza (e quindi la velocità), all'azione distruttrice può seguire una fase di deposito, durante la quale vengono abbandonati in parte i materiali dapprima fluitati. Questo deposito, nel quale si opera una speciale cernita del materiale in rapporto con le dimensioni, e quindi con il peso dei frammenti, costituisce un *deposito di espandimento.*

Analogamente quando il vallone percorso dal torrente sbocca in una valle maggiore, i detriti portati dalla corrente si depositano formando un *cono di deiezione,* cioè un ammasso più o meno regolarmente conico con il vertice vôlto a monte, in cui stanno mescolati blocchi e piccoli frammenti, ghiaia, sabbia e limo.

A seconda del loro regime i torrenti si usano anche distinguere in *persistenti* e *temporanei,* essendo i primi alimentati generalmente non soltanto dalle acque selvagge, ma anche dall'acqua di fusione delle nevi persistenti esistenti nel *bacino di raccoglimento.*

Fiumi. — Praticamente è difficile distinguere in modo preciso ed assoluto un fiume da un torrente, poichè dall'uno all'altro tipo di corrente superficiale si hanno graduali termini di passaggio, con i *torrenti-fiumi* ed i *fiumi-torrenti,* ed essendo il primo tratto di un fiume ordinariamente a tipo torrenziale.

Ad ogni modo si possono considerare come fiumi i corsi maggiori ali-

mentati da sorgenti perenni, o dalle acque di fusione dei ghiacciai e che sboccano in un altro corso d'acqua (di cui diventano *affluenti*), oppure che, avanzandosi nella pianura, vanno a versare le loro acque nel mare.

Tutta la regione irrigata da un fiume e dai suoi affluenti viene a costituire quello che si dice un *bacino idrografico;* così il bacino del Po, ecc.

I fiumi si risentono grandemente della natura del terreno su cui scorrono, essendo più regolari quelli delle regioni a rocce permeabili, mentre nei terreni impermeabili diventano sovente irregolari e a regime torrenziale.

Il diverso modo di alimentazione ha pure una notevole influenza sul regime delle correnti fluviali; così nei fiumi in cui l'alimentazione è dovuta prevalentemente alla fusione delle nevi, si ha cessazione quasi completa della corrente durante l'inverno, mentre invece grandi periodi di piene corrispondono alla primavera; questo è il caso per i fiumi che nascono dagli alti monti dell'Asia Centrale.

Dove l'alimentazione è mista, dovuta cioè a pioggie e nevi, come avviene in generale per i fiumi della regione alpina, la corrente è, si può dire, continua, avendosi però dei periodi di magra alternati con periodi di piena a seconda delle stagioni.

Più rara è l'alimentazione esclusivamente pluviale, che si verifica specialmente nei fiumi delle regioni tropicali e meridionali; il regime fluviale è allora in diretto rapporto con la natura delle precipitazioni, avendosi o un regime costante o alternative, anche notevoli, di piene e di magre.

L'alimentazione pluviale porta nell'Italia meridionale, specialmente nella Sicilia e nella Calabria, alla formazione delle *fiumare,* che, dopo un corso generalmente breve, sboccano direttamente nel mare. Sono caratterizzate dall'avere un alveo largo, ripido, ciottoloso e mentre per una parte dell'anno sono asciutte, vanno soggette a piene disastrose dopo i periodi di pioggia od anche semplicemente in seguito a forti temporali.

In ogni fiume la parte superiore della corrente, compresa nel bacino montuoso, corrisponde si può dire a quella di un torrente ed ha quindi un'azione dinamica nettamente distinta da quella che acquista in seguito. Si possono perciò nello studio di una corrente fluviale distinguere tre fasi: *torrenziale,* di *alluvionamento* e di *deltazione.*

1° Fase torrenziale. — In questa fase, che, come si è detto sopra, corrisponde al bacino montuoso, si manifestano lungo la corrente fluviale i fenomeni di erosione, di cui fu già parlato, ma sopra i quali ha notevole importanza l'orografia e la natura delle rocce.

Così ad una valle ampia corrisponde un grande *letto maggiore*, occupato nei periodi di piena, mentre normalmente il fiume occupa il *letto minore,* più ristretto, ma molto più irregolare, suddividendosi la corrente in parecchi rami per l'opposizione che incontra nelle alluvioni da essa stessa accumulate.

Ad una valle incassata invece corrisponde un *letto maggiore* ridotto ed un *letto minore* profondo, che viene continuamente scavato.

Se il fiume scorre sopra rocce tenere, il letto si mantiene ampio e poco profondo con abbondanti detriti e va soggetto a frequenti divagazioni; nelle rocce dure e resistenti, specialmente se vi sono fenditure nelle quali l'acqua

trova una via per il suo passaggio, essa finisce per scavarsi un letto profondo e stretto (fig. 48), limitato da pareti verticali o quasi, talora perfettamente levigate. Si hanno così le *gole* o *forre*, la cui escavazione può anche esser molto rapida; ricordiamo a questo proposito il fiume Simeto, presso Catania, che in tre secoli, cioè dal 1603, si è aperto in una colata di lava

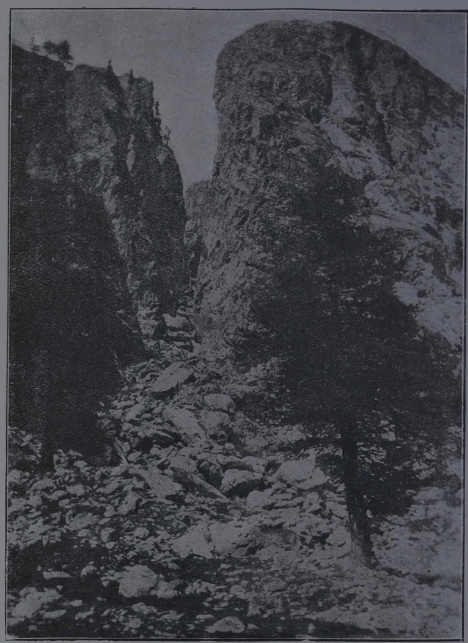

Fig. 48. — La forra di Valmasca nelle Alpi Marittime.

dell'Etna, per circa 500 metri di lunghezza, un alveo largo da 20 a 100 metri con una profondità superiore ai 20 metri.

In Italia esempi di forre si hanno in molti punti delle Alpi e dell'Appennino; forre grandiose sono poi quelle di Fier nell'Alta Savoia, quelle di Trient nel Vallese, quelle del Vercor nel Delfinato, come pure quelle del Tarn e della Lozère in Francia.

Sovente le forre si hanno quando, oltre alla presenza di fessure nel suolo, la corrente passa sopra formazioni stratificate in posizione orizzontale o quasi e costituite da rocce poco resistenti, come calcari, arenarie, ecc., in

regioni ove l'azione delle acque di dilavamento si fa poco sentire. A queste condizioni geologiche sono dovuti i famosi e noti *cañons* del fiume Colorado sul versante occidentale delle Montagne Rocciose, ove parecchie di quelle forre, uniche al Mondo, hanno una profondità di 1000 e fin 1800 metri, con pareti quasi verticali, solo interrotte dalla presenza di *terrazzi* splendidi di forma (fig. 49). Nella stessa regione il Rio della Vergine ha scavato entro

Fig. 49. — Forre del Colorado.

arenarie un cañon profondo 800 metri, in alcuni punti non più largo di 6 a 7 metri.

L'incontro di terreni aventi durezza differente, e quindi diverso grado di erodibilità, porta come conseguenza una diversità nell'azione dell'acqua con la formazione talora di *bacini lacustri* corrispondentemente alle rocce tenere, oppure di *cascate* e di *rapide*, a seconda che l'acqua precipita da un dislivello o scorre su un piano fortemente inclinato (fig. 50). Le cascate si possono anche produrre all'incontro di due corsi d'acqua, la cui azione erosiva sia molto differente; tale è il caso di molte cascate alpine e di quella del Velino nella Nera, presso Terni, ove si ha un dislivello di quasi 200 metri.

Il gradino dall'alto del quale avviene la caduta tende continuamente, in seguito all'azione dell'acqua, a spostarsi verso monte portando al cosidetto fenomeno dell'*arretramento delle cascate*.

L'arretramento avviene o per erosione diretta della roccia che forma il gradino, oppure quando vi sia una roccia resistente sovrastante ad altre

che lo siano meno. Queste vengono allora erose più rapidamente, tanto più per il fatto che l'acqua al piede della cascata può assumere movimento vorticoso; si formano così delle cavità o vere caverne destinate con il tempo a rovinare, portando quindi indietro il gradino.

Fig. 50. — Le cascate Vittoria dello Zambese (secondo A. St-Hill Gibbons).

Il fenomeno si verifica per tutte le cascate, ma è specialmente evidente nella grande cascata del Niagara, tra i laghi Erié e Ontario, nell'America Settentrionale.

La cascata del Niagara precipita da un'altezza di circa 50 metri con una fronte superiore ad un chilometro e una portata che raggiunge i 10.000 metri cubi al secondo. Il gradino è costituito da calcare compatto sovrapposto a schisti ed arenarie, le quali rocce, meno resistenti, sono continuamente erose al piede e soggette a franamenti. Il conseguente ritiro (che in altri tempi dovette essere ancor più rapido) è di circa m. 1 $^1/_2$ all'anno nella parte mediana, donde la forma a ferro di cavallo che prende la cascata.

Pure al piede delle cascate, oppure in qualunque punto ove per una causa qualsiasi l'acqua assume movimento vorticoso, travolgendo ciottoli di rocce dure, questi, sfregati contro la roccia del fondo più tenera, la corrodono scavando cavità di forma cilindrica, generalmente col fondo concavo, che vengono indicate con il nome di *marmitte* o *caldaie dei giganti* (fig. 51). Esse hanno evidentemente dimensioni variabili e sul fondo della cavità

si osservano frequentemente i ciottoli che hanno provocato il fenomeno (fig. 52).

Le marmitte dei giganti (che, come vedremo, possono anche esser dovute ad altra causa) sono molto abbondanti lungo i cañons del Colorado e a centinaia si osservano nell'antico letto dell'Imatra in Finlandia; non sono neppure infrequenti lungo il corso dei torrenti alpini e ricorderemo a questo proposito quelle esistenti, entro e fuori del letto della Stura, al Ponte del Diavolo presso Lanzo (Torino).

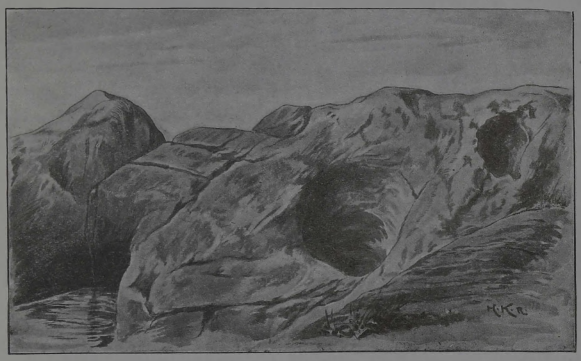

Fig. 51. — Marmitte dei giganti nella valle di Münster (Alta Alsazia). Secondo L. Braxis.

Piccole marmitte analoghe si formano sovente sul fondo del letto di fiumi che portano nelle loro alluvioni minerali duri (diamante, corindone, ecc.) appunto per l'azione erosiva di questi. Tale è il caso di certi corsi d'acqua della Birmania e del Brasile; quivi, nei giacimenti diamantiferi, sono dette dai minatori *caldeiras* e possono talora essere ricchissime per la concentrazione che vi si opera naturalmente della preziosa pietra.

Sovente infine le valli presentano a diverse altezze sui loro versanti uno o parecchi gradini più o meno continui e regolari. Tali gradini, indicati con il nome di *terrazzi,* corrispondono agli antichi livelli del fondo della valle e ci sono testimoni delle fasi che si sono susseguite nella decrescente potenza del fiume (e quindi della sua azione erosiva), in conseguenza delle modificazioni climateriche.

Fenomeno analogo si può avere, come si vedrà in seguito, dall'azione dei ghiacciai.

2° Fase di alluvionamento. — Quando il fiume sbocca dalla valle montuosa nella pianura, la corrente subisce un rallentamento nella sua velocità e nel suo potere di trasporto, conseguentemente alla diminuzione del pendìo ed all'allargarsi del letto.

Le *alluvioni* del fiume, cioè l'insieme del materiale detritico che esso trasporta, tendono a depositarsi originando un *cono di deiezione*, analogo a quello che si è visto formarsi allo sbocco di un torrente in una valle maggiore. Tale deposito si fa accompagnato da una cernita dei materiali, arrestandosi quasi subito i massi maggiori e gradatamente quelli più piccoli; la forma del cono originatosi nella sedimentazione non si mantiene però regolare, perchè le alternative di piene e di magre disturbano il deposito, tanto più che la corrente non manca di aprirsi uno o parecchi letti nelle alluvioni. Queste sono quindi continuamente rimaneggiate e dànno luogo ad accumuli, detti *isole di deiezione*, compresi fra i diversi letti, dei quali uno diventa il *letto minore*, mentre gli altri sono tutti occupati nei periodi di piena.

Fig. 52. — Sezione di una marmitta dei giganti (secondo L. Braxis).

La cernita dei materiali, indicata sopra, si manifesta in seguito lungo tutto il corso del fiume con il continuo diminuire della velocità della corrente; perciò mentre essa dapprima trasportava frammenti anche voluminosi (che per l'arrotondamento degli spigoli nella fluitazione vengono ridotti alla caratteristica forma sferoidale), le alluvioni si fanno in seguito sempre più piccole, passandosi ai ciottoli, da questi alle ghiaie, poi alle sabbie ed infine al limo.

Il peso specifico dei materiali ha pure influenza in questa cernita, per cui evidentemente a parità di volume saranno fluitati fino a maggior distanza i ciottoli e le altre alluvioni provenienti dalle rocce meno pesanti.

Analogamente si opera nelle sabbie una cernita sui minerali di alto peso specifico, i quali saranno presto abbandonati e concentrati in alcuni punti della corrente; ciò spiega la formazione dei giacimenti alluvionali di oro, platino, cassiterite, ecc., posti generalmente a non grande distanza dal luogo ove il minerale esiste in posto. Così molti fiumi e torrenti scendenti dalle Alpi sono auriferi, ma soltanto nel primo tratto del loro corso.

Se la corrente fluviale procedesse in linea retta, essa presenterebbe un letto regolare e relativamente stretto, perchè l'erosione si produrrebbe sempre nella stessa direzione; ma gli ostacoli, anche minimi, che non mancano mai lungo il letto, portano al *divagamento* della corrente, cioè al suo spostarsi da un lato o dall'altro, con conseguenti incurvature del letto e formazione di *meandri* (fig. 53).

Infatti appena il *filone* viene spostato, quando il letto devia dalla linea retta, l'azione erosiva si fa laterale, trasportandosi verso la sponda concava ed accentuando l'incurvatura dei meandri, mentre sulla sponda convessa avviene il deposito del materiale alluvionale.

Però siccome l'azione erosiva è continua, così anche continua è l'accentuazione dei meandri, che portano allo stabilirsi di *anse*, le quali tendono sempre più a congiungersi in forma di anello, riducendo l'ampiezza dell'istmo che le congiunge. Questo istmo coll'andar del tempo può, o per una piena o per semplice erosione, essere distrutto; l'acqua allora tende a prendere la via più breve e si forma così un'*isola di corrosione*, mentre l'ansa abbandonata diventa un braccio d'acqua calma o stagnante (*braccio*

Fig. 53. — Un meandro fluviale (Ox-Bow) nella Valle di Hayden, Parco di Yellowstone (secondo una fotografia del Penck).

o *canale morto*), che in seguito, per il depositarsi ai suoi sbocchi di materiali alluvionali portati dalla corrente, può essere isolato completamente, trasformandosi in una palude od anche scomparendo del tutto. Di questi bracci abbandonati, trasformati talvolta in torbiere, ne esistono, si può dire, lungo tutti i fiumi e numerosissimi sono, ad esempio, lungo il Mississippi (fig. 54).

Quando un affluente sbocca nel fiume principale l'incontro delle due correnti avviene difficilmente ad angolo retto, ciò perchè la corrente minore viene trascinata nella direzione della maggiore, formandosi il *gomito* o *angolo di confluenza*, che porta le due correnti a disporsi sempre più parallelamente.

Nel punto d'incontro delle due correnti si forma un deposito alluvionale provocato dalla corrente minore, deposito che tende ad ingombrarne la foce; possono originarsi così delle *isole di deiezione*, mentre la corrente maggiore viene spinta dal lato opposto, provocando la formazione di una

insenatura. Il letto poi risultante dalla fusione dei due corsi d'acqua ha generalmente una larghezza minore della somma dei due letti primitivi; esso però è più profondo e la corrente acquista una velocità maggiore (1).

Intanto a misura che la corrente procede verso il mare, essa dà luogo ad importanti infiltrazioni (*acque subalveali*) che imbibiscono le pianure alluvionali, mentre diminuisce sempre più la velocità e quindi la forza di trasporto. I materiali alluvionali vengono perciò man mano abbandonati, concorrendo così continuamente a sollevare il letto, specialmente in corrispondenza delle sponde, e accentuando quindi sempre più l'intensità del deposito. Tale fenomeno è molto evidente nel corso inferiore del Po ed in quello dell'Adige, fiumi che ora scorrono fra arginature rese necessarie dall'innalzarsi del livello dell'acqua sul piano delle campagne circostanti, essendosi ridotti a veri *fiumi pensili*

Per questo fatto il Po, ad esempio, innalzò dal secolo XV il suo letto di circa 6 metri, rendendo quindi le inondazioni sempre più frequenti e disastrose, specialmente quando la forza delle acque riesce a rompere le arginature. Così il 28 maggio 1872 la rottura di Polesella allagò 700 chilometri quadrati del Basso Po e nel 1882 la rotta dell'Adige a Legnago sommerse 1200 chilometri quadrati nelle provincie di Mantova, Verona, Padova, Venezia e Rovigo, scacciando dalle loro abitazioni oltre 100.000 persone.

Lo straripamento dei fiumi e le conseguenti inondazioni sono generalmente provocate da abbondanti piogge in tutto il bacino o nella sua parte superiore, oppure dalla rapida fusione delle nevi nel bacino montuoso di alimentazione. Possono però in condizioni speciali essere dovute ad altre cause, come, ad esempio, al congelamento dell'ultimo tratto della corrente durante l'inverno; questo fenomeno avviene nei fiumi che, dopo un percorso in latitudini temperate, vanno a sboccare in regioni nordiche, come sarebbero il San Lorenzo dell'America del Nord e parecchi fiumi siberiani.

Fenomeno analogo si può avere per l'accumulo di detriti vegetali, nei punti più stretti o meno profondi del letto, fino a provocare straripamenti ed anche spostamenti permanenti nella corrente. Così il Rio Rosso, affluente del Mississippi, in un punto del suo corso è ingombro da un'enorme agglomerazione di tronchi d'albero formanti un'immensa zattera lunga 200 chilometri. Nell'impossibilità, dopo molteplici tentativi, di liberare il letto, si dovettero scavare canali laterali per permettere il deflusso delle acque.

3° Fase di deltazione. — Tranne pochi rari casi, come ad esempio per certi corsi d'acqua della Repubblica Argentina che si perdono nelle *pampas* dando origine a paludi, oppure per fiumi di regioni desertiche ove il suolo sabbioso, avido di acqua, contribuisce ad esaurire la corrente non più alimentata da precipitazioni ed affluenti, i fiumi vengono a sboccare in

---

(1) Si è creduto di constatare nei fiumi della Siberia e di altre località dell'emisfero settentrionale, il cui corso è diretto da sud a nord, una certa tendenza a spostarsi verso la loro destra, e cioè verso est, attribuendo il fenomeno alla rotazione terrestre. Il fatto è però messo in dubbio da parecchi autori, poichè il calcolo ha dimostrato che l'intensità di erosione conseguente alla rotazione è assolutamente trascurabile.

un lago o più comunemente nel mare, ove dànno luogo al fenomeno della *deltazione,* depositando gli ultimi materiali (sabbia e particolarmente limo) che le loro acque potevano trascinare.

Fig. 54. — Il Mississippi coi suoi letti morti (secondo i rilievi della *Mississippi River-Commission* del 1882 e 1894).

Il fiume sbocca in una insenatura, che, sebbene determinata in origine dalle condizioni orografiche del terreno, risulta però in parte dalla stessa azione dell'acqua ; questa insenatura prende il nome di *estuario.*

Incontrandosi con la massa marina, l'acqua del fiume perde la sua

velocità e quindi la sua azione di trasporto, obbligando i materiali fluitati a depositarsi.

Se il mare in cui arriva il fiume è soggetto a grandi maree, a forte movimento di onde ed è solcato da correnti littoranee, il materiale alluvionale non si accumula, ma preso dalle acque marine viene portato al largo o rigettato lateralmente lungo le spiaggie, tranne un deposito di questo materiale che può avvenire nel punto di congiunzione del fiume con il mare. Si formano così le *barre,* mobili specialmente in seguito al variare dell'intensità delle onde di marea e che possono costituire un serio impedimento per la navigazione alla foce dei grandi fiumi.

Ad ogni modo la foce rimane libera e, se essa è larga e conformata ad imbuto, il fiume può esser risalito per un tratto anche notevole dai bastimenti, come si verifica per il Tamigi fino a Londra, per la Senna fino a Rouen, per la Garonna fino a Bordeaux, ecc. Si ha allora un *estuario propriamente detto,* o *delta negativo,* che si osserva ovunque un fiume sbocca in un grande mare aperto.

Ma se la forza della marea è poco potente e così pure se è minima la forza delle onde e non vi sono correnti littoranee, i materiali alluvionali del fiume si possono depositare tranquillamente nell'estuario senza esserne asportati; l'estuario a poco a poco si va ricolmando, concorrendo a favorire il fenomeno i *cordoni littoranei,* originati lungo la spiaggia dall'accumulo dei detriti, che le onde non hanno forza sufficiente ad asportare verso il largo.

Non soltanto si ricolma l'estuario, ma i materiali trasportati dal fiume conquistano a poco a poco una parte del dominio marittimo (specialmente se il fondo marino non ha un pendìo troppo forte) e costruiscono un deposito che per la sua forma triangolare, con la base verso terra e l'apice al largo, ha ricevuto il nome di *delta,* o più propriamente di *delta positivo,* in opposizione al negativo prima considerato (1).

Una caratteristica del fiume durante la fase di deltazione è il divagamento della sua corrente frammezzo ai sedimenti depositati nell'estuario, per cui il corso primitivo si scinde in corsi minori ed il fiume sbocca nel mare non più soltanto per la foce principale, ma anche per parecchie secondarie. Il fenomeno è dovuto al formarsi sui lati del fiume di argini naturali di origine alluvionale, i quali facilmente vengono rotti, specialmente nei periodi di piena, e producono quindi ramificazioni più o meno numerose nella corrente principale, che si risolve in una rete irregolare di bracci, racchiudenti numerose *isole di erosione* e *di deiezione.* Certi spazi invece, che ricevono una quantità relativamente piccola di materiali alluvionali, rimangono occupati dall'acqua in forma di *lagune,* essendo circondati dagli argini naturali della corrente fluviale.

Tutti i fiumi che sboccano in mari chiusi (e così tutti i fiumi del Mediterraneo) costituiscono dei *delta;* ricordiamo, come tipici, quelli del Rodano.

---

(1) Il nome di *delta* fu dapprima usato dai naturalisti greci per la vasta pianura terminale del corso del Nilo, che paragonarono giustamente alla lettera Δ del loro alfabeto.

del Nilo, del Mississippi (che ha una caratteristica forma ramificata in tre bracci principali a modo di zampe d'oca) (fig. 55), ecc.

Il Po dà pure un bellissimo esempio di delta (fig. 56) e la sua conquista dell'Adriatico è in continuo aumento dai tempi storici, tanto che ha portato notevoli mutamenti nella topografia della regione; così la città di Adria, la quale verso il 700 dell'êra volgare si trovava sul mare, ne distava, dopo

Fig. 55. — Delta del Mississippi.

cinque secoli, di 9 km., ed ora ne dista di circa 25. Il materiale alluvionale che il Po deposita annualmente si calcola di circa 43 milioni di metri cubi ed in anni eccezionali raggiunge i 100 milioni; in media guadagna annualmente sul mare 113 ettari di superficie.

In questi ultimi anni il fenomeno della deltazione si è aumentato in modo sensibile alla foce del Po; il fatto va attribuito all'estensione acquistata dalle terre coltivate, al disboscamento nella regione montuosa del bacino, alla costruzione di dighe per regolarizzare il corso del fiume, tutti fenomeni che concorrono ad aumentare la quantità del materiale alluvionale portato fino al mare.

Un fenomeno analogo a quello ora descritto per i delta positivi si verifica allorquando un fiume sbocca in un lago.

Col deposito del materiale, trasportato dalle sue acque, la corrente costruisce un *delta lacustre,* che, con forma più o meno regolare, determina una progressiva diminuzione nell'area del lago. Tipico è a questo riguardo il delta costruito dal Rodano nel lago di Ginevra ed il cui avanzamento è

tale che il porto di Valais, il quale era 700 anni addietro presso la foce, attualmente ne dista di parecchi chilometri.

Analogamente l'Adda sboccando nel lago di Como ha costruito un delta che con il tempo separò dal bacino principale l'attuale lago di Mezzola e per un fenomeno analogo, provocato dal Toce, il lago di Mergozzo fu staccato dal Lago Maggiore.

Fig. 56. — Delta del Po.

Quando si tratta di una corrente torrenziale che venga a sboccare in un lago, allora si ha ancora formazione di un delta, detto *delta torrenziale,* ma che presenta caratteri alquanto differenti da quelli sinora indicati. Infatti, siccome nel caso di un torrente la corrente non porta soltanto materiali sabbiosi-argillosi ma anche ciottoli e massi, le acque del torrente avanzandosi per un certo tratto frammezzo alle acque del lago scaricano le loro alluvioni formando un deposito di materiali eterogenei, in parte sommerso ed in parte emerso. Tale deposito ha forma triangolare con la base verso terra ed il vertice al largo; in esso mentre la parte emersa si presenta presso a poco orizzontale come in tutte le formazioni alluvionali, la parte sommersa invece è molto inclinata. Vi si possono poi avere alternanze di strati sabbiosi e ciottolosi, in relazione con i periodi di piena e di magra della corrente torrenziale.

Anche orizzontalmente si verifica una cernita nei materiali, poichè in prossimità della sponda si ha il deposito dei massi e ciottoli più voluminosi e gradatamente si incontrano verso l'apice i materiali sempre più minuti e

leggeri. Il fatto è conseguenza della graduale diminuzione della velocità della corrente, e quindi della sua forza di trasporto, a misura che le acque torrenziali si avanzano nella massa lacustre.

Lagune. — Si è spiegato nel paragrafo precedente come i materiali alluvionali (sabbia, limo, ecc.) portati dai fiumi alla loro foce possono nei mari chiusi esser accumulati dalla forza delle onde ad una certa distanza dalle coste, formando i cosidetti *cordoni littoranei*.

Alla edificazione di tali cordoni concorrono sovente anche i materiali accumulati dai marosi e dalle onde di marea, purchè queste non siano troppo forti, nel qual caso invece il fenomeno (così nei mari aperti) viene impedito. Ne consegue che il rilievo, il quale con il tempo raggiunge e supera il livello normale del mare in modo da potere in seguito resistere all'azione delle onde, non è costituito soltanto da melma e sabbia, ma anche da ghiaie, ciottoli e persino da avanzi organici, specialmente vegetali. Il materiale detritico può poi esser cementato da sostanza calcarea o silicea, come anche consolidato dallo stabilirsi su di esso della vegetazione.

I cordoni littoranei si dispongono ordinariamente in forma di linea retta o in curva poco accentuata lungo le frastagliature delle coste e ad una certa distanza dalla spiaggia, che dev'essere piatta, bassa e poco accidentata perchè si verifichi il fenomeno.

Lo spazio di mare compreso fra la costa ed il cordone littoraneo costituisce appunto quello che si dice una *laguna*, nella quale evidentemente non si fa sentire la forza delle onde, salvo il caso di grandi tempeste.

La laguna non è sottratta completamente al mare, col quale anzi mantiene una comunicazione più o meno ampia, permanendo quindi la salsedine dell'acqua; però siccome per lo più ad alimentare la laguna concorrono pure le acque fluviali, ne viene che la salsedine iniziale può perdersi in parte, mantenendosi nondimeno l'acqua sempre almeno salmastra. Un fenomeno inverso può verificarsi quando non vi sia afflusso d'acque fluviali e dove il cordone sia unicamente dovuto all'azione dei marosi e delle onde di marea; allora, tanto più se l'evaporazione è molto forte, le acque tendono a diventare sempre più salate e con il tempo può anzi avvenire che la laguna si dissecchi completamente fino a scomparire. È questo il caso che si verifica sulle coste orientali dell'Africa, specialmente nel Mar Rosso; così il lago Bahr-el-Assal, che era riparato dal Mar Rosso per un sottile cordone di sabbia, si è completamente disseccato ed attualmente è rappresentato da una depressione occupata in parte da un ricco deposito di sale.

Una regione tipica di lagune è costituita dalla costa veneta; verso nord infatti esistono le lagune di Venezia e di Chioggia, separate dal Mare Adriatico per mezzo del *Lido* (che è un caratteristico cordone littoraneo), mentre verso sud si distende la laguna di Comacchio (v. fig. 56). Molte altre lagune esistono nella regione conseguenti ai fenomeni di deltazione del Po e dell'Adige; parecchie si sarebbero già chiuse e ricolme se non si tenessero artificialmente aperte verso il mare per le necessità della pesca.

Fuori d'Italia possiamo ricordare le lagune della foce del Rodano nel Mediterraneo e quelle molto estese dell'Olanda (Zuyderzee) e della Germania nel Mar Baltico. Quivi sono importanti presso Königsberg le lagune di Frisches Haff alle foci del Niemen (fig. 57), e di Kurisches Haff alle foci della Vistola (fig. 58), le quali sono separate dal mare, con un breve soluzione di continuità per mezzo di una sottile lingua di terra, indicata con il nome di *Nehrung*.

Parecchie lagune, alcune completamente disseccate, altre sottratte del tutto all'azione del mare, esistono pure nel delta del Nilo, fra cui quella nota come lago di Mensalah, che, nel suo primo tratto, dopo Porto Said, concorre a formare il Canale di Suez. Ricordiamo infine le lagune della Florida, del Texas, ecc., nel

golfo del Messico, ove alcune hanno conservato una profondità tale da permettere una sicura navigazione, al riparo delle onde dell'oceano.

Qualunque sia la loro origine, le lagune sono, si può dire, tutte destinate a scomparire in un tempo più o meno remoto (sostituite da altre formatesi più verso mare, dietro nuovi cordoni littoranei), venendo ricolmate dal materiale alluvionale portato dai fiumi.

La scomparsa delle lagune può in condizioni speciali avvenire anche molto rapidamente ed il fenomeno è talora conseguenza di fenomeni atmosferici, laddove, ad esempio, si ha formazione di dune. Il fatto si verifica appunto attualmente sulle coste della Curlandia nel Mar Baltico e in parecchi punti delle coste inglesi.

Fig. 57. — Frisches Haff alle foci del Niemen.

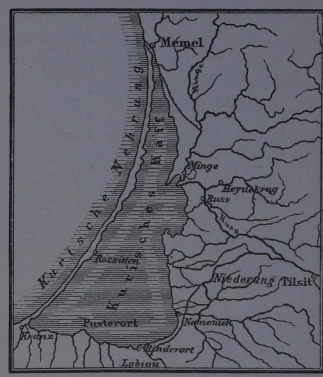

Fig. 58. — Kurisches Haff alle foci del ramo principale della Vistola.

Anche la vegetazione che si stabilisce sul fondo delle lagune, rappresentata essenzialmente da *Salicornia herbacea*, *Chara foetida*, *Ruppia maritima*, *Aster trifolium*, *Plantago maritima*, ecc., può concorrere alla scomparsa delle lagune.

I *polder* dell'Olanda, terreni coltivati e fertili, furono in origine lagune state a poco a poco invase e ricolme dalla vegetazione, la quale in molti casi diede pure origine a depositi di torba.

CAPITOLO IV.

Azione dei ghiacciai.

Trasformazione della neve in ghiaccio. Origine dei ghiacciai. — Si è detto a suo tempo (pag. 19) come in ogni regione esiste un'altitudine (*limite delle nêvi persistenti*) al di sopra della quale la precipitazione atmosferica si fa prevalentemente, se non esclusivamente, sotto forma di neve e dove il calore dell'estate non è sufficiente a fondere tutta la neve caduta nella stagione invernale.

Ora sovente la precipitazione della neve avviene in un bacino montuoso ove essa si accumula, tanto più che ad aumentare il deposito concorrono pure le *valanghe*, che, precipitando dai versanti, vengono a portare nuova neve (con pietre ed altri detriti), che si aggiunge a quella della precipitazione diretta.

Notiamo a questo proposito come le valanghe possono avvenire essenzialmente per due cause: cioè o per grandi accumuli di neve sopra forti pendii, ove non tardano a perdere l'equilibrio, precipitando in basso con velocità che può diventare vertiginosa (e queste sono le *valanghe invernali*); oppure per l'infiltrazione dell'acqua di fusione superficiale attraverso alla massa di neve di un pendio fino ad arrivare alla roccia sottostante. Quivi forma un velo, e quindi una soluzione di continuità, che, togliendo l'aderenza con la roccia, provoca lo scivolamento della massa di neve; queste sono essenzialmente le *valanghe primaverili*.

La neve accumulata nel bacino o circo montuoso (*bacino di ricevimento*) non aumenta indefinitamente di altezza; ma a poco a poco essa si trasforma in *ghiaccio* e scende per la valle che fa seguito al circo, diventando la sorgente di un *ghiacciaio*, il quale prosegue verso il basso, arrivando anche sotto il livello delle nevi persistenti (fig. 59). Quindi ad originare i ghiacciai più che freddo intenso, sono necessarie abbondanti nevicate; ciò spiega perchè nel Tibet non vi sono, o quasi, ghiacciai, l'aria fredda avendo perduta la sua umidità nel sorpassare la catena dell'Imalaia.

Appena caduta, la neve si presenta in forma di fiocchi stellati, soffici, che si ammucchiano sul suolo con molta aria interposta, tanto che un metro cubo di neve appena caduta non pesa che circa 85 kg. Ma l'azione dei raggi solari non tarda a produrre nelle zone superficiali la fusione parziale dei fiocchi, trasformandoli in grani, il cosidetto *nevischio*, molto mobile, che finisce per essere cementato dall'acqua stessa di fusione.

L'acqua di fusione poi penetrando negli interstizi della massa sottostante ne scaccia a poco a poco l'aria e provoca uno stipamento notevole della massa nevosa, riducendo contemporaneamente a grani i fiocchi degli strati più profondi con il determinare la loro parziale fusione; congelandosi poi l'acqua penetrata, essa cementa più o meno stabilmente i granelli fra di loro.

Continuandosi il fenomeno della fusione e dell'infiltrazione dell'acqua, la cementazione dei granuli si accentua sempre più dando origine ad un ghiaccio granuloso, che si fa poi consistente ma ancora bolloso ed opaco, per arrivare con il tempo a trasformarsi nel vero ghiaccio compatto, azzurro, qual'è quello che costituisce appunto la parte più profonda del ghiacciaio. In questo si osserva sempre una stratificazione più o meno evidente, che rappresenta la successione delle diverse nevicate, od anche la massa di neve accumulatasi in un inverno, e questo perchè in ogni periodo di intervallo si hanno numerosi detriti eterogenei, in gran parte portati dal vento, che si distendono alla superficie della neve e restano impigliati nella massa durante la sua trasformazione in ghiaccio.

Movimento dei ghiacciai. — Il ghiacciaio si sposta continuamente nel senso della sua pendenza e sotto questo riguardo si comporta assolutamente come un fiume; così la velocità è maggiore nella parte mediana (*filone*) che sui lati, alla superficie che non in profondità; la velocità aumenta quando il letto si restringe e diminuisce quando si allarga; negli svolti il massimo di velocità si avvicina alla sponda concava, mentre la massa si solleva contro la sponda convessa, ecc. Sono, cioè, le stesse leggi che regolano i due movi-

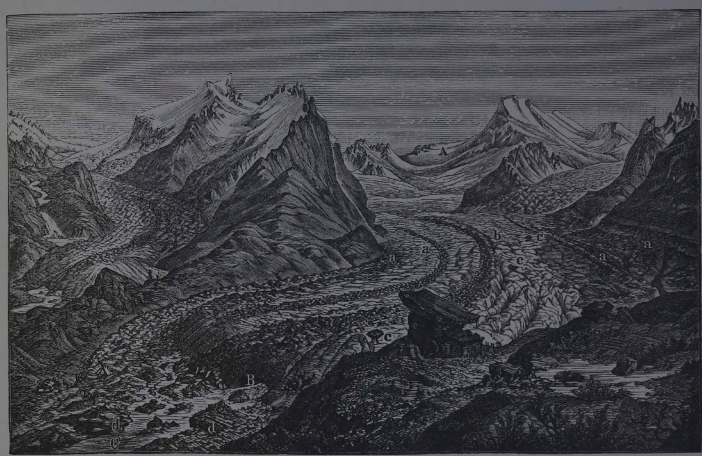

Fig. 59. — Schema di un paesaggio a ghiacciai (secondo F. Simony).
A, Campi di nevischio. - B, Porta del ghiacciaio. - C, Torrente del ghiacciaio. - *a*, Morene laterali. *b*, Morene mediane. - *c*, Tavola del ghiacciaio. - *d*, Morene frontali.

menti, ma quello dei ghiacciai è immensamente più lento, avendosi fra i due un medio rapporto di 1 a 150.000.

La progressione dei ghiacciai (1), prima che formasse vero oggetto di studio per i Geologi (e fra i primi glacialisti dobbiamo ricordare Agassiz, Charpentier, Forbes, Tyndall, ecc.), era già nota per il fatto che oggetti abbandonati sul ghiaccio o caduti nei crepacci si ritrovano dopo un tempo più o meno lungo alla sua fronte; così è generalmente ricordato che una scala abbandonata sulla Mer de Glace da De Saussure, nella sua prima ascensione al Monte Bianco nel 1788, fu ritrovata molto più in basso nel 1832

(1) Il movimento dei ghiacciai, oltrechè con altri metodi, si usa ancora attualmente studiare con quello proposto e seguito da Agassiz, metodo che consiste nello infiggere una serie di pali o disporre una serie di sassi secondo una retta normale all'asse del ghiacciaio, osservando il loro esatto spostamento in diversi periodi di tempo.

ed in seguito nel 1845, potendosi calcolare che era discesa di circa 130 metri all'anno.

I ghiacciai si avanzano sovente fin sotto il livello delle nevi persistenti, arrivando talora nelle zone coltivate; così molti ghiacciai delle Alpi terminano nella regione dei cereali e si citano ghiacciai del versante occidentale delle Alpi della Nuova Zelanda, i quali scendono quasi fino al livello del mare, spingendosi in regioni di vegetazione tropicale con felci e palmizi.

Il movimento, per quanto lentissimo, è regolare, continuo e senza scosse; esso è però molto variabile da ghiacciaio a ghiacciaio e varia anche in uno stesso ghiacciaio a seconda del tempo e del punto ove si fa l'osservazione. È così maggiore nella stagione calda che non nella fredda; maggiore di giorno che di notte; più rapido nella parte mediana che verso le sponde, essendo quivi il rapporto circa di 1 a 10; minore in corrispondenza della fronte e presso la regione del nevischio che non in quelle intermedie; aumenta con la pendenza del letto; è favorito dalle precipitazioni atmosferiche, ecc.

Nei ghiacciai alpini la velocità media è di circa 1 a 4 cm. e fin oltre un metro al giorno; quindi di 40 a 150 e fin 500 m. all'anno. A cagion d'esempio la Mer de Glace ha una velocità media di 80 a 250 m. all'anno; il ghiacciaio dell'Aar di 50 a 80 m., raggiungendosi 500 m. al ghiacciaio dei Bossons. In altre regioni però la progressione è molto più rapida, per cui nei ghiacciai della Scandinavia si arriva a 50 cm. al giorno e vi sono ghiacciai dell'Imalaia che progrediscono giornalmente di 2 a 3 metri.

Ora qual'è la causa del movimento dei ghiacciai?

Lasciando da parte l'ipotesi dello scivolamento in blocco della massa di ghiaccio sul fondo della valle ed altre che non rispondono ai fatti o sono contraddette da essi, si deve ammettere che il movimento dei ghiacciai sia dovuto essenzialmente alla forza di *gravità*, per cui le parti situate a monte premono sulle inferiori; alla *plasticità*, per cui il ghiaccio si comporta come un corpo viscoso ed al fenomeno del *rigelo*.

Il fenomeno del rigelo è quello che si manifesta quando si comprima della neve o del ghiaccio pesto, che si possono così modellare in ogni modo e persino far uscire sotto forma di cilindri compatti attraverso ad aperture, anche molto piccole. Il rigelo si spiega ammettendo che la compressione provochi la fusione di una parte del materiale con produzione di acqua, la quale, ricongelando in seguito, viene a cementare i frammenti.

Ora si è visto che la massa del ghiacciaio è in parte granulosa e tutta gremita di bollicine d'aria, il cui posto può essere occupato dall'acqua di fusione, mentre la stessa acqua si può infiltrare nelle innumerevoli fessure capillari che esistono nella massa. Queste fessure separano la massa stessa in grani e minuti frammenti, capaci di subire spostamenti sotto l'azione della pressione.

Il ghiacciaio si trova quindi in condizioni tali da poter dar luogo al fenomeno del rigelo, mentre le particelle minime del ghiaccio possono acquistare una certa mobilità; quindi nell'insieme, data la temperatura dell'ambiente, il ghiaccio va considerato come una massa parzialmente

fluida. E siccome i fenomeni conseguenti alla plasticità ed al rigelo variano evidentemente con le condizioni di tempo e di luogo, si ha appunto ragione delle variazioni sopra indicate nel movimento di progressione.

Crepacci e seracchi. — Quando il ghiacciaio nella sua progressione deve sorpassare un ostacolo, un dislivello od un ripido pendìo, oppure piegarsi in uno svolto molto accentuato, ecc., la sua plasticità non è sovente bastevole a vincere gli sforzi di tensione e di compressione a cui la massa è soggetta. Avvengono allora delle rotture, cioè si formano i *crepacci* (fig. 60), che costituiscono una delle caratteristiche superficiali di tutti i ghiacciai,

Fig. 60. — Crepacci in varie posizioni al ghiacciaio del Gelas (Alpi Marittime).

variando soltanto per numero e dimensioni. Per quanto poi si presentino con aspetto e posizione variabili, sono principalmente *longitudinali, trasversali, marginali* e *radiali* o *frontali.*

Restringendosi il letto del ghiacciaio, esso subisce un vero fenomeno di laminazione, conseguenza della quale sono i *crepacci longitudinali,* disposti cioè parallelamente alla direzione del movimento. Quando invece il letto presenta un forte pendìo oppure un dislivello repentino, allora non soltanto si formano *crepacci trasversali,* normali cioè alla direzione della corrente, ma il ghiaccio si divide in frammenti di forma e dimensioni variabilissime, a cui si dà il nome di *seracchi,* che precipitano caoticamente gli uni sugli altri, salvo poi a cementarsi nuovamente più in basso per il fenomeno del rigelo.

La minor velocità delle parti laterali del ghiacciaio, conseguente all'attrito con le rocce della sponda, produce altri *crepacci trasversali* o *marginali*, che si dispongono ancora normalmente alla direzione, oppure in modo da formare con essa un angolo acuto. Se poi il ghiacciaio si allarga dopo esser stato costretto in un letto angusto (ed il fenomeno è ben evidente alla fronte) si formano allora crepacci divergenti disposti a ventaglio, cioè i *crepacci radiali* o *frontali*.

La formazione dei crepacci è sovente accompagnata da detonazioni fortissime; d'ordinario però non si originano improvvisamente, ma si produce dapprima una fessura capillare, i cui margini si allontanano in seguito sempre più, lasciando così una cavità aperta che può aver profondità rilevante e di cui difficilmente si scorge il fondo. Infatti le pareti perdono presto la posizione verticale, che avevano all'atto della loro formazione, essendo più rapida la progressione nelle parti vicine alla superficie (fig. 61).

Nei crepacci poi vengono ad accumularsi i frammenti che si staccano dalla parete superiore, la quale, per la maggior velocità, dapprima strapiomba, poi, perdendo l'equilibrio, precipita e si frantuma. I frammenti così accumulati insieme alla neve della precipitazione atmosferica possono, in conseguenza del solito fenomeno del rigelo, chiudere nuovamente i crepacci e farli scomparire.

I crepacci talvolta si riempiono dell'acqua di fusione superficiale, quando questa non trovi uno sfogo nel torrente glaciale (di cui sarà parlato in seguito) ed esser causa di valanghe disastrose. Così nella notte dall'11 al 12 luglio 1892 un crepaccio posto presso la fronte del piccolo ghiacciaio della Tête-Rousse al Monte Bianco, essendosi riempito d'acqua e non potendo le sue pareti resistere alla pressione di essa, cedette, provocando la rovina improvvisa di circa 100.000 metri cubi d'acqua con una massa quasi uguale di ghiaccio frantumato.

L'enorme valanga, passando sopra la morena di Bionnassay, precipitò nella valle di Bon Nant, nell'Alta Savoia, distruggendo completamente il villaggio di Bionnassay ed in seguito la stazione balneare di St-Gervais. Le vittime furono oltre duecento e si calcola che la massa di materiale spostato fosse di circa un milione di metri cubi.

Morene. — I frammenti di roccia, che in seguito ai fenomeni della degradazione meteorica, e speciamente del gelo e disgelo, si staccano dai fianchi della valle, vengono a cadere alla superficie del ghiacciaio e si accumulano sopra i lati, formando ammassi caotici di detriti aventi dimensioni variabilissime. Questi ammassi sono detti *morene laterali* e seguono il ghiacciaio nella sua progressione, senza che però i frammenti rocciosi perdano i loro spigoli vivi, non subendo essi alcuna fluitazione (fig. 59 e 61).

Quando avviene la confluenza di due ghiacciai, la morena di destra dell'uno si confonde con quella di sinistra dell'altro e ne risulta sul ghiacciaio derivato dalla fusione dei due primitivi una nuova *morena* detta *mediana*. Confluendo parecchi ghiacciai in uno (*ghiacciaio polisintetico*), si avranno necessariamente parecchie morene mediane e cioè tante quanti

saranno i ghiacciai che avranno confluito con il ghiacciaio primitivo. Le morene mediane possono formare rilievi ben distinti (fig. 59), per quanto sovente, se sono numerose, finiscono per ricoprire la superficie del ghiacciaio d'una moltitudine di detriti sparsi senz'ordine.

Se il ghiacciaio incontra nella sua progressione un qualche ostacolo, una parte del materiale delle morene laterali e mediane vi si accumula contro, formando una *morena d'ostacolo,* che resta abbandonata mentre il ghiacciaio, girato o sorpassato l'ostacolo stesso, continua il suo movimento di discesa.

Se poi nello scendere il ghiacciaio incontra una valletta laterale, allora non soltanto la può sbarrare, ma vi può mandare entro un'apofisi con una porzione della sua morena laterale, originando così una *morena insinuata.*

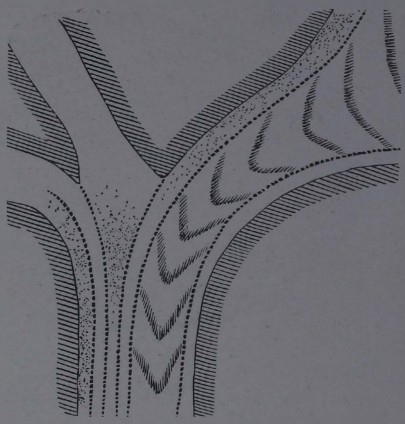

Fig. 61. — Ghiacciaio la *Mer de Glace,* con morene laterali e mediane e stratificazioni trasversali (KAYSER).

Non è raro che frammenti della morena laterale vengano a cadere nei crepacci; di essi alcuni restano impigliati nel ghiaccio e possono con il tempo ritornare alla superficie in seguito ai fenomeni di fusione. Altri invece vanno al fondo; quivi non si fermano, ma trasportati dal ghiacciaio in movimento sono sfregati, con pressione fortissima, sulle rocce del letto e quindi variamente ed anche minutamente frantumati, riducendosi a ciottoli dalla caratteristica forma elissoidale, che vengono levigati e che si ricoprono di strie (*ciottoli striati*) più o meno accentuate e dirette in ogni senso, dovute allo sfregarsi dei frammenti l'un contro l'altro o contro la roccia del letto (fig. 62). Continuando poi la frantumazione si origina ghiaia, sabbia e finalmente limo, il quale rende appunto torbide e melmose le acque del torrente sboccante alla fronte da una caverna più o meno ampia e profonda, la quale viene detta *porta del ghiacciaio.*

Ai materiali caduti nei crepacci, altri se ne aggiungono strappati alla asperità del fondo o delle sponde e che subiscono le stesse trasformazioni; tutto l'insieme costituisce la *morena profonda.*

Alla sua fronte poi il ghiacciaio abbandona tutti i materiali delle diverse morene e si origina così un accumulo in forma di rilievo semicircolare, più abbondante verso i margini, costituente la *morena terminale* o *frontale* (fig. 59).

Ritirandosi il ghiacciaio esso abbandona la sua morena frontale, ma può edificarne un'altra più indietro in una fase di arresto, poi una terza, ecc.; ne risulta così una successione di morene frontali disposte concentricamente, che costituiscono un *anfiteatro morenico,* tra l'una e l'altra morena del quale può accumularsi dell'acqua, originandosi i *laghi morenici* (v. pag. 45).

Anfiteatri tipici con i relativi laghi furono costruiti allo sbocco di molte valli alpine, quando avvenne il ritiro dei ghiacciai alla fine del periodo glaciale.

I depositi di origine morenica si riconoscono facilmente da quelli fluvio-torrenziali; abbiamo visto infatti che in questi il materiale è sempre arrotondato in seguito alla fluitazione e regolarmente distribuito secondo il volume dei frammenti ed il loro peso specifico. Nei depositi glaciali invece il materiale è accumulato caoticamente senz'ordine alcuno, massi grandi e piccoli, ghiaia e sabbia, il tutto immerso nel limo; di più i frammenti, tranne quelli della morena profonda che sono arrotondati e striati nel modo che si è detto sopra, conservano ancora la loro forma primitiva con i loro spigoli vivi o quasi.

Fig. 62. — Ciottolo glaciale striato.

La morena frontale è poi incisa dal torrente glaciale e percorsa da rigagnoli che provengono dalla fusione del ghiaccio; da queste acque di fusione viene accumulato, all'avanti della morena, del fango, che forma uno speciale deposito stratificato di materiale finissimo, grigio o biancastro, che è indicato generalmente con il nome di *lehm.*

Classificazione dei ghiacciai. Loro dimensioni, pendenze, ecc. — Per quanto vi abbia tutta una serie di termini intermedi, pure si possono ridurre i ghiacciai ai seguenti tipi principali:

Ghiacciai di 1° ordine o alpini (fig. 59 e 63). — Sono i maggiori; forniti di un ampio bacino di ricevimento, occupano il fondo di una valle (per cui la lunghezza sorpassa sempre la larghezza) e si spingono per lo più sotto il livello delle nevi persistenti. Presentano i diversi tipi di morene indicati ed hanno generalmente una pendenza poco accentuata (compresa fra 5 e 10 gradi), che può anche essere nulla per tratti notevoli; eccezionalmente la pendenza raggiunge i 20 gradi, come si verifica per alcuni ghiacciai del Monte Rosa.

Appartengono a questo tipo, secondo indica il nome, molti ghiacciai delle Alpi; così il ghiacciaio di Alestch, nell'Oberland bernese, il più importante

della catena alpina, lungo 24 km. con un volume di circa 11 km³ ed una media pendenza di 4°; la Mer de Glace, lunga 12 km. con pendenza di 5° e 6° e media potenza di 150 metri; il ghiacciaio dell'Aar, lungo 8 km., con potenza localmente di 400 metri ecc.

Fig. 63. — Ghiacciaio alpino.

Pure a tipo alpino sono i ghiacciai del Caucaso e dell'Imalaia, ove stanno i maggiori ghiacciai della Terra, come quello del Baltoro lungo circa 100 km. e in qualche punto largo 20; quello dell'Hispar lungo oltre 50 km., ecc.

Ghiacciai di 2° ordine o Vedrette (fig. 64), i quali non occupano valli, ma si distendono generalmente, con larghezza superiore alla lunghezza, sopra versanti a pendìo uniforme, talora molto ripido. Mancano di un bacino di ricevimento ben definito; mancano anche sovente di morene

superficiali ed hanno una pendenza accentuata, che può raggiungere i 30°, per quanto la loro progressione sia in generale minore che per quelli del primo tipo.

Ghiacciai esclusivamente di 2° ordine si hanno nelle Alpi Marittime, nei Pirenei, ecc.

A questo tipo si collegano i *ghiacciai sospesi* (fig. 65), posti sopra forti pendii e che arrivano alla pendenza di 50°. Terminano sovente sopra pareti a picco o quasi; non hanno evidentemente morene laterali, ma sol-

Fig. 64. — Ghiacciaio del Gelas (Alpi Marittime).

tanto frontali; questa può anche mancare ed i loro detriti si scaricano, in forma di valanghe, lungo ripidi canaloni.

Ghiacciai a tipo scandinavo, rappresentati da ampi piani coperti di neve dai quali si diramano moltissimi ghiacciai indipendenti, aventi per lo più forte pendenza e relativamente poca estensione. Esempio si ha nel Justedal (Norvegia Meridionale), che alimenta non meno di 20 ghiacciai di 1° ordine, la cui lunghezza massima non oltrepassa però 5 km.; parecchi di essi vanno a terminare nel Sogne Fjord.

Ghiacciai a tipo equatoriale riferibili al tipo scandinavo, e che si osservano in montagne poste in prossimità dell'equatore. Sono costituiti da calotte di ghiaccio, senza bacini di ricevimento, che mandano negli avallamenti delle digitazioni, la cui parte terminale segna sovente il limite delle nevi persistenti.

Ghiacciai di questo tipo esistono al Kenya, al Kilimandjaro ed al Ruwenzori nell'Africa, in alcuni punti delle Ande, ecc.

Ablazione dei ghiacciai. — Il ghiacciaio non discende indefinitamente, perchè, a misura che si abbassa lungo la valle, il suo ghiaccio viene sottoposto all'azione dell'*ablazione,* o distruzione per fusione, la quale si compie, è vero, fin dalla zona delle nevi, ma che raggiunge il suo massimo presso la fronte, la quale corrisponde al punto ove si stabilisce equilibrio fra l'alimentazione del ghiacciaio e la sua ablazione.

Le cause dell'ablazione sono molto numerose e fra esse vanno ricordate: la fusione superficiale dovuta all'azione diretta dei raggi solari ed al con-

Fig. 65. — Ghiacciaio di Lurusa (Alpi Marittime).

tatto dell'aria ambiente avente temperatura superiore a 0°; il calore latente che si sviluppa nella condensazione dell'umidità atmosferica in forma di pioggia, la quale poi cade sul ghiacciaio, si infiltra e circola nelle sue fessure; il calore irradiato dalle rocce dei versanti e del fondo; i venti; l'evaporazione diretta del ghiaccio, quando l'aria ambiente abbia un punto di saturazione inferiore a quello corrispondente alla sua temperatura, ecc.

L'ablazione, per quanto molto intensa, varia evidentemente secondo il tempo ed il luogo; la media annua si può ritenere di un metro nella regione del nevischio, passando a 2-2 $^1/_2$ metri nelle parti mediane, per raggiungere 3 metri verso la fronte, ove si può avere, come in certi ghiacciai della Svizzera, fin 6 e 8 metri.

Essendo generalmente l'ablazione più rapida ai lati che non nel mezzo, la superficie del ghiacciaio tende ad assumere forma convessa, ben visibile, ad esempio, nella Mer de Glace; vi sono però casi, come al ghiacciaio di

Vernagt, ove la protezione esercitata dai detriti accumulati sui lati porta ad una maggiore ablazione nella parte mediana e quindi ad una forma concav a

Conseguenza dell'ablazione superficiale è la comparsa delle *fascie fangose*, originate dai minuti detriti impigliati nei diversi strati e che vengono messi allo scoperto; tali fascie prendono forma incurvata per la più rapida ablazione nelle parti laterali (fig. 61).

La protezione esercitata contro la radiazione solare dall'accumulo dei detriti spiega il fatto per cui le morene sono sovente come sostenute da uno zoccolo di ghiaccio e dà pure ragione della formazione delle *tavole* o

Fig. 66. — Una tavola di ghiaccio della Mer de Glace (Monte Bianco).

funghi dei ghiacciai (fig. 59 e 66), originate da qualche grosso masso che, caduto sul ghiacciaio, non tarda ad essere portato in alto da un gambo di ghiaccio, che ha protetto contro la fusione. La parte del gambo esposta a mezzogiorno essendo soggetta ad ablazione maggiore, la tavola non si mantiene a lungo orizzontale, ma si inclina in quella direzione, finchè venendo a mancargli l'equilibrio, il masso precipita, salvo a ricostruire più in basso una nuova tavola, destinata pure a rovinare in un tempo più o meno lontano.

I minuti frammenti rocciosi hanno un'azione contraria; essi infatti irradiano calore all'intorno e fondono il ghiaccio, originando delle piccole cavità a modo di pozzanghere, di cui occupano il fondo.

L'acqua della fusione superficiale penetrando attraverso alle fessure del ghiacciaio le allarga, riducendole a veri pozzi circolari, che giungono fino al fondo roccioso, costituendo i cosidetti *molini*, che, con un processo analogo a quello indicato parlando dei torrenti, possono esser causa della formazione di *marmitte dei giganti*. Sul fondo poi l'acqua non tarda ad aprirsi

nel ghiaccio un letto più o meno tortuoso e viene a sboccare alla fronte, uscendo per lo più dalla caverna scavata nel ghiaccio (che abbiamo detto costituire la *porta* o *bocca del ghiacciaio*) sotto forma di un *torrente glaciale*, con acque rese melmose dai materiali minuti della morena profonda (fig. 67).

Erosione glaciale. — Un'azione erosiva potente, che fu da taluni esagerata e da altri negata, si esercita indubbiamente sul fondo e sui fianchi

Fig. 67. — Fronte del ghiacciaio della Pilatte (Delfinato) con porta e torrente glaciale.

della valle percorsa dal ghiacciaio, sia per azione diretta del ghiaccio, sia specialmente per quella dei materiali detritici che esso trasporta.

Nella massa del ghiacciaio sono inglobati, come si è detto a suo tempo, frammenti angolosi di roccia che sfregati contro le pareti vi incidono *strie* più o meno profonde, la cui inclinazione indica appunto il senso del movimento del ghiacciaio stesso. Quest'azione ripetuta a lungo finisce per levigare le rocce, dando loro sovente una politura perfetta, che si può osservare sui fianchi delle antiche valli glaciali o al disopra dei ghiacciai attuali, di cui rivelano la primitiva potenza.

Un'azione analoga viene esercitata sul fondo della valle per opera del materiale della morena profonda; le sporgenze del letto sono con il tempo erose, spianate o ridotte a forma di dorsi arrotondati, che al ritiro del ghiacciaio costituiscono le caratteristiche *roches moutonnées* o *roccie montone* (fig. 68), il cui nome proviene dall'impressione che possono dare di un branco di pecore al riposo. La valle poi nel suo insieme prende una tipica

forma ad U (che si distingue nettamente da quella a V dovuta all'erosione fluvio-torrenziale) e può presentare a diverse altezze dei *terrazzi*, analoghi a quelli fluviali, e corrispondenti alle fasi di ritiro del ghiacciaio.

Questi molteplici fenomeni dànno al *paesaggio glaciale* un'impronta speciale, alla quale concorrono pure le antiche morene con i laghi interposti ed i *massi erratici* (fig. 69), che si incontrano, nelle posizioni le più varie, disseminati nella pianura, sui fianchi della valle, ecc. Sono grandi blocchi a spigoli vivi o poco arrotondati (1), stati trasportati insieme agli altri materiali morenici più minuti; questi furono asportati dall'erosione, mentre restavano isolati i massi, che possono provenire anche da molto lontano.

Fig. 68. — *Roches moutonnées* nel Vallone di Valmasca (Alpi Marittime).

Variazioni attuali dei ghiacciai. — Il regime dei ghiacciai è influenzato da cause molteplici, fra cui principale la più o meno abbondante alimentazione per precipitazioni nevose nel bacino che ne è il regolatore. Ne consegue che ad una serie di inverni umidi seguirà in un gruppo montuoso un maggior avanzamento dei ghiacciai; tranne nei ghiacciai aventi piccole dimensioni, l'effetto non si determina però immediatamente, ma bensì dopo un certo numero di anni, in causa della lentezza della trasformazione della neve in ghiaccio.

I ghiacciai quindi hanno subìto e subiscono continue oscillazioni; così quelli del Monte Bianco sembrano essersi avanzati rapidamente, fino a de-

(1) I massi erratici possono avere dimensioni molto rilevanti; ricordiamo a questo proposito il cosidetto *Masso* o *Rocco Gastaldi*, che giace nell'abitato del Comune di Pianezza, presso Torino; esso misura una larghezza di 12 metri; un'altezza di 14 ed un diametro massimo di circa 30 metri.

stare inquietudini, dal 1802 al 1812, poi si ritirarono fino al 1824; una nuova progressione si ebbe dal 1826 al 1830, poi un ritiro dal 1839 al 1842, ecc. Attualmente i ghiacciai sembrano, nell'insieme, ovunque in via di regresso.

Ghiacciai polari. — Nelle regioni polari (1) il limite delle nevi persistenti si abbassa fino al livello del mare od è di poco superiore ad esso; si hanno

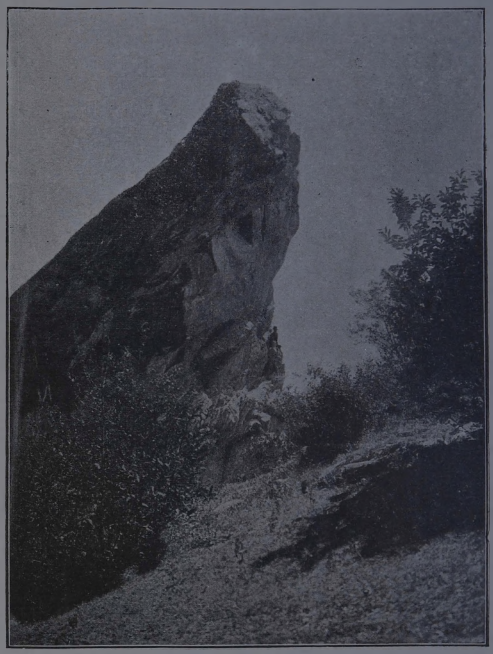

Fig. 69. — Masso erratico presso Trana (Torino).

quindi grandi precipitazioni nevose e conseguente formazione di ghiacciai, essendo i necessari fenomeni di fusione provocati, durante l'inverno, dalla pressione degli strati superiori di neve sugli inferiori e, nell'estate, dalla prolungata presenza del sole sull'orizzonte.

I ghiacciai polari (fig. 70) sono caratterizzati dalla loro potenza (non raramente di 600 e più metri), che li obbliga in molti casi ad occupare parec-

(1) Nelle regioni artiche i ghiacciai sono specialmente abbondanti sulle terre bagnate dall'Oceano Atlantico, ove soffiano venti fortemente umidi; mancano invece nella Siberia settentrionale e in una parte dell'America boreale.

chie valli, ricoprendo del tutto i rilievi del suolo; mancano in essi le morene superficiali o sono ridotte a poco, mentre è molto sviluppata la morena profonda; scarseggiano i crepacci, eccettochè nella parte prossima alla fronte; il ghiaccio vi ha color grigiastro o verdastro, con grana molto grossolana e stratificazione ben distinta; la velocità poi è grande, superiore da 10 a 20 volte a quella dei ghiacciai alpini.

I ghiacciai polari vanno per lo più a terminare in un *fjord* (1), oppure direttamente nel mare aperto, presentando allora fronti enormi; così all'arcipelago Francesco Giuseppe il ghiacciaio Dove ha una fronte di 60 km.

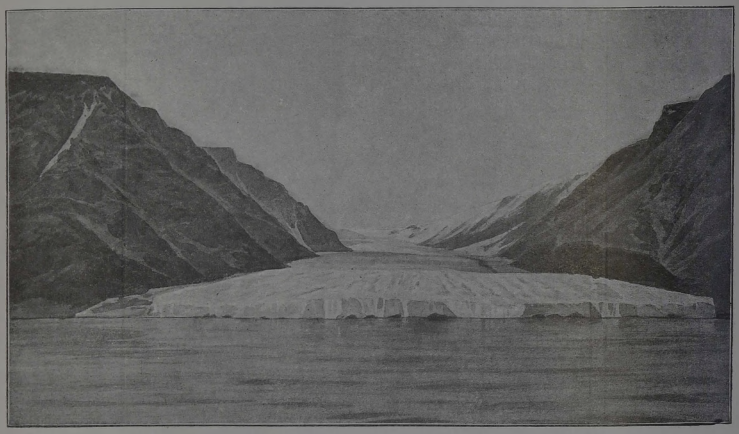

Fig. 70. — Il ghiacciaio Mi-Su-Mi-Su, Groenlandia Settentrionale (R. Peary).

e quello di Humboldt di oltre 100 km.; allo Spitzberg i ghiacciai hanno una fronte della media ampiezza di 20 chilometri.

La parte frontale dei ghiacciai polari, avanzandosi nel mare, non tarda a perdere l'equilibrio e a spezzarsi con gran fragore, riducendosi in frammenti (gli *ice-bergs* degli Inglesi), che prendono a galleggiare e ad essere fluitati dalle correnti verso latitudini meno elevate.

---

(1) I *fjords* sono canali lunghi e stretti, limitati da pareti verticali alte fino 700 a 800 metri, talora perfettamente levigate; da essi si dipartono in ogni senso ramificazioni laterali. Si spingono nell'interno delle terre fino a grande distanza (così il Sogne Fjord della Scandinavia fino a 180 km.) e si continuano nel mare con valli sommerse; la loro profondità raggiunge 200 a 300 metri, ma in qualche punto fu misurata persino di 2000 metri.

Riguardo all'origine si ritiene che siano valli dovute a fenomeni tettonici, state scavate dai ghiacciai (donde la loro forma ad U) ed alla sommersione delle quali possono aver concorso i bradisismi; i *fjords* sono caratteristici della Scandinavia, dell'Islanda, dell'Alaska e della Groenlandia. Formazioni analoghe si osservano sulle coste del Cile e della Nuova Zelanda.

La forma di questi *ghiacci galleggianti* (fig. 71) è molto variabile e le loro dimensioni possono essere affatto straordinarie; infatti nei dintorni di Terra Nuova se ne osservano di quelli che sporgono dal mare per 120-150 metri. Ora, se si tien conto che la parte emersa non è che $^1/_7$ o $^1/_8$ della massa totale, si deve ritenere la loro altezza non inferiore a 1000 metri; sovente poi hanno una lunghezza di 4-5 km. Si calcola che nel solo emisfero

Fig. 71. — Ghiacci polari galleggianti (Geikie).

boreale i ghiacciai galleggianti rappresentino annualmente una massa di 32 km³.

Siccome nei ghiacciai polari la morena profonda è molto abbondante, così gli *ice-bergs* portano impigliati nella loro massa frammenti rocciosi e melma, che vengono poi depositati sul fondo del mare a misura che avviene la fusione del ghiaccio. Il Banco di Terra Nuova, ad esempio, che occupa una superficie di 125.000 km² con una potenza di 2000 metri, risulta appunto dall'accumulo di detriti abbandonati dai ghiacciai polari.

Altro ghiaccio si forma nelle regioni polari per il diretto congelamento dell'acqua marina intorno alle coste; ne risultano banchi di ghiaccio (*banquises* o *banchise*) di grande spessore e nettamente stratificati, i quali frantumandosi possono nuovamente originare degli *ice-bergs*, il cui ghiaccio si

riconosce da quello dei ghiacciai propriamente detti per il fatto che è alquanto salato. Tali frammenti della *banchisa* hanno alle volte dimensioni enormi; uno se ne cita osservato nell'Oceano Antartico avente 100 km. di lunghezza, per 64 di larghezza, con una altezza di 100 metri (fig. 72).

Ghiacciai della Groenlandia. — Il glacialismo della Groenlandia si presenta con un tipo ben differente da quello finora considerato.

L'immensa isola è infatti quasi interamente ricoperta da una calotta di ghiaccio (indicata con il nome di *inlandsis*), che si estende a più di 2 milioni di chilometri quadrati della sua superficie, non lasciando libera che una zona costiera quasi nulla sul versante orientale ed estesa da 15 a 100 km. sull'occidentale.

L'*inlandsis* (fig. 73) si innalza gradatamente verso l'interno, dell'isola, in cui si calcola che il suo spessore possa raggiungere i 2000 metri; nell'estremità sud Nansen vi raggiunse l'altezza di oltre 2700 metri.

La pendenza, che è poco accentuata nell'interno, si fa abbastanza forte verso le coste, la superficie essendo tutta coperta di crepacci nelle zone costiere; in seguito diventa però molto regolare, non presentando che qua e là picchi rocciosi sporgenti dal manto di ghiaccio.

Dall'*inlandsis* si dipartono molti ghiacciai di grande potenza, alcuni dei quali giungono fino al mare dando origine a degli *ice-bergs* analoghi a quelli forniti dai ghiacciai polari.

Periodi glaciali. — In diversi momenti della Storia della Terra si è verificato un fenomeno importantissimo, e non ben spiegato ancora nelle sue cause, consistente in uno sviluppo straordinariamente potente dei ghiacciai, i quali invasero ampie regioni della superficie terrestre, dando luogo a formazioni che sono restate in parte a testificare dell'intensità del fenomeno.

Di questi periodi glaciali si può ora ritenere che un primo si sia verificato alla fine dell'arcaico; altri seguirono, durante il Paleozoico, nei periodi Cambriano, Devoniano e Permo-carbonifero, le formazioni del quale sono specialmente sviluppate nell'India, nell'Africa australe e nella Nuova Zelanda. Un altro sembra essersi manifestato durante il Cretaceo; l'ultimo infine (seppure non si voglia ammettere l'esistenza di un periodo glaciale anteriore, nel Pliocene), il meglio studiato, che ha lasciato le tracce maggiori per la sua data relativamente recente, corrispose al principio dell'Era quaternaria, di cui, con la comparsa dell'uomo, costituisce una caratteristica notevole.

Il glacialismo indica evidentemente un gran mutamento avvenuto nelle condizioni climateriche della superficie terrestre; quello quaternario, ad esempio, sembra esser stato dovuto, oltrechè ad un abbassamento nella temperatura, che considerazioni sulla flora e sulla fauna fanno ritenere non molto forte (3°-4° inferiore alla media di oggi), essenzialmente ad una precipitazione atmosferica abbondantissima. Questa nella pianura si doveva manifestare con piogge torrenziali, di cui si hanno prove nei grandiosi fenomeni di erosione e di alluvionamento, mentre la neve cadeva abbondantemente sulle montagne, le quali avevano allora subìta l'ultima spinta di sollevamento. Su queste montagne, con altitudine ed estensione molto maggiori delle attuali, si dovettero formare ghiacciai straordinariamente potenti, i quali, dopo ricoperti i dorsi e le sommità dei monti, si inoltrarono nelle valli ricolmandole ed in molti casi uscendone fuori, sino ad avanzarsi più o meno nella pianura.

Il periodo glaciale non dovette essere un fenomeno continuato, ma si è ora d'accordo nell'ammettere tre *glaciazioni* o *fasi glaciali*, con clima freddo e umido, durante le quali i ghiacciai avanzarono, intercalate da due *fasi interglaciali* con clima mite e meno umido e conseguente ritiro dei ghiacciai.

A spiegare il fenomeno glaciale furono affacciate molte ipotesi, come raffreddamento del sole, spostamento dell'asse terrestre, cambiamenti nella direzione

delle correnti marine, esistenza di grandi bacini in corrispondenza degli attuali deserti dell'Africa e dell'Asia; sprofondamento di masse continentali e relativo avanzamento degli oceani, ecc. Nessuna di queste ipotesi però resiste completamente alla critica scientifica e riesce a risolvere il problema di un fenomeno esteso a tutta la superficie terrestre. Fuori di discussione è soltanto che l'atmosfera dovette essere straordinariamente ricca in vapor d'acqua e che quindi si ebbero enormi precipitazioni; resta però da spiegare l'origine di questa umidità, non bastando la considerazione che la grande attività dei vulcani,

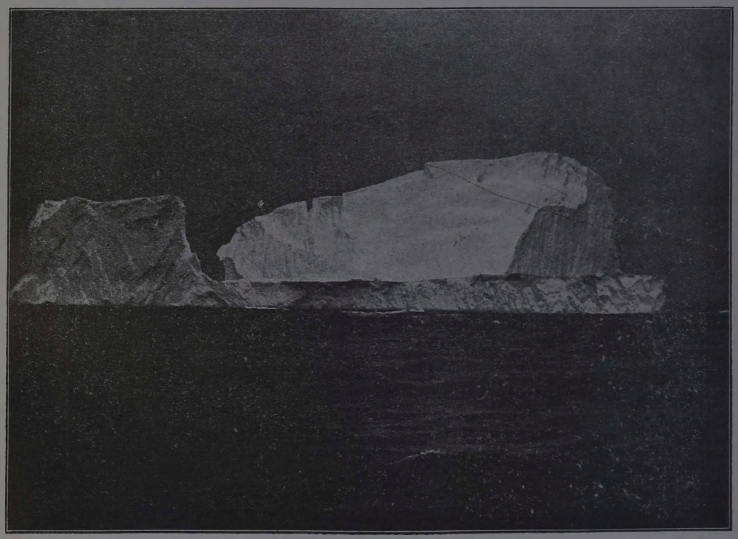

Fig. 72. — Monte di ghiaccio nel Mare Antartico (secondo una fotografia della Spedizione della *Valdivia*).

manifestatasi in ogni regione del globo in principio del quaternario, dovesse versare nell'atmosfera quantità rilevantissime di vapor acqueo.

Durante il periodo glaciale, i ghiacciai del polo artico si avanzarono tanto da ricoprire un'area di circa 25 milioni di km^2; tutta la Scandinavia, l'Islanda, gran parte della Russia, della Germania e delle Isole Britanniche furono così invase dal ghiaccio. Ovunque in quelle regioni si incontrano depositi morenici, rocce arrotondate, levigate e striate, massi erratici, ecc. che non lasciano dubbio sull'estensione del fenomeno; così nei dintorni di Mosca si osservano rocce provenienti dalla Finlandia, cioè dalla distanza di 600 km. del loro punto di origine; blocchi di rocce dell'Islanda furono trovati nel sottosuolo di Berlino; i depositi glaciali hanno in Scozia una potenza talora di 200 metri, ed in Polonia vi sono colline che furono ricoperte da essi. E si noti che oggigiorno l'ipotesi di ghiacci galleggianti che avrebbero portato a grande distanza i materiali rocciosi delle regioni nordiche più non si ammette, dovendosi ritenere che vi fu un vero e proprio avanzamento dei ghiacciai.

Il fenomeno glaciale fu pure straordinario nell'America del Nord, ove i ghiacciai ricoprirono il Canadà e gran parte degli Stati Uniti, estendendosi sopra un'area di 15 milioni di km^2; lo stesso si deve dire per la parte settentrionale del continente asiatico. Prove evidenti di glaciazione furono riscontrate in tutte le montagne d'Europa, in quelle dell'America Meridionale, nell'Imalaia, nella Nuova Zelanda e, recentemente, in tutti i grandi monti dell'Africa equatoriale.

Al periodo glaciale delle Alpi vanno riferiti gli anfiteatri morenici della Dora Riparia, il cui ghiacciaio, con una potenza di circa 500 m. allo sbocco della

Fig. 73. — L'*inlandsis* dei Groenlandesi.

valle, si spinse fin presso Torino; quello della Dora Baltea che edificò la cosidetta Serra d'Ivrea; quelli del lago d'Orta, del lago Maggiore, di Como, del Garda, del Tagliamento, ecc. Neppure nell'Appennino mancano tracce di un potente sviluppo glaciale, le cui formazioni s'incontrano nell'Appennino settentrionale, nelle Alpi Apuane, al Gran Sasso ed in qualche punto dell'Italia meridionale.

Conseguenza pure del periodo glaciale fu una profonda modificazione nelle faune e nelle flore; così in Italia molte specie animali scomparvero: elefanti (fra cui il Mammut), rinoceronti, ippopotami, grossi felini, ecc.; altre specie invece migrarono o verso il nord, come la renna, o nelle montagne, come il camoscio e la marmotta.

Circa la durata del periodo glaciale nulla si può asserire con certezza e vi sono grandi discrepanze tra le opinioni dei vari autori; è presumibile però che abbia durato per una serie non breve di secoli. Anche l'epoca a cui si dovrebbe far risalire tale periodo è molto controversa, per quanto le cifre già proposte di 200-300 mila anni siano probabilmente di molto esagerate; recenti calcoli lo porterebbe a circa 20 mila anni e forse meno.

CAPITOLO V.

Azione del mare.

Forza meccanica delle onde. — L'azione meccanica delle onde, specialmente di quelle di tempesta e di grandi mareggiate, è straordinaria, potendo esse spostare per oltre 20 metri dei blocchi del peso di 10 a 20 tonnellate. Tale azione è però limitata in profondità, poichè, sebbene nelle onde di tempesta la melma possa essere smossa fino a 200 metri e più, tuttavia la vera azione distruttrice non si spinge oltre ai 20 metri, essendo poi specialmente efficace fino a 10 metri.

I fenomeni di erosione dovuti all'azione delle onde si manifestano specialmente sopra le coste alte e dirupate, variando però molto da luogo a luogo, ma in modo particolare secondo la natura delle rocce. Per quanto poi su certe coste si possa avere una erosione maggiore, si deve già ritenere come cifra molto elevata la media erosione annua di un metro sulle coste inglesi del Norfolk e del Suffolk.

Terrazzi littoranei. — L'erosione dovuta alle onde si manifesta lungo le coste dirupate quasi costantemente con la formazione, in corrispondenza del punto di maggior azione meccanica, di un gradino o *terrazzo,* dalla superficie pianeggiante e largo non oltre poche centinaia di metri. Tale terrazzo diventa duplice sulle spiaggie ove si verificano differenze notevoli fra l'alta e la bassa marea, la cui diversa altezza viene appunto rivelata dal dislivello che intercede fra l'uno e l'altro gradino, i quali rappresentano le due distinte fasi erosive; nelle regioni poi soggette a forti maree oppure esposte a venti violenti si può osservare anche la sovrapposizione di parecchi terrazzi.

Sulle coste pianeggianti, specialmente in prossimità della foce dei fiumi, l'azione è diversa; non si formano terrazzi, ma la forza delle onde vi può accumulare i detriti in modo da formare i *cordoni litoranei* e da dare origine alle *lagune,* nel modo che fu indicato a pag. 130.

Dirupi o falaises. — Allorquando le onde del mare esercitano la loro azione meccanica sopra coste elevate, che siano costituite da rocce resistenti (calcari compatti, rocce cristalline, ecc.), la conseguenza dell'erosione è la formazione di dirupi verticali o quasi, noti sulle coste francesi dell'Atlantico, e più particolarmente della Normandia, con il nome di *falaises,* che vien pure usato dai Geologi per indicare un tal genere di formazione.

Le *falaises,* le quali, per quanto di rado, si possono pure osservare in regioni di rocce argillose, risultano dal graduale franare della speciale cornice, che si forma al disopra del punto ove le onde di tempesta e di marea esercitano la loro azione distruttrice (fig. 74) potendo questa essere agevolata dai piani di schistosità o da fessure esistenti nella massa, che facilitano il potere meccanico dell'acqua, dando naturali superficie di divisione.

Lungo le spiaggie francesi del dipartimento della Senna Inferiore si osservano *falaises* perfettamente verticali, che si innalzano a più di 100 metri sul livello del mare in modo di giganteschi muraglioni. Questa zona di dirupi si estende, quasi ininterrotta, fra l'Havre ed il Tréport e si ha annualmente per essa un arretramento di circa 25 cm. in conseguenza della erosione.

In alcune speciali circostanze può essere naturalmente ritardata, se non impedita, la distruzione dei dirupi; così quando i materiali franati dalla parete sono in frammenti voluminosi, essi possono costituire una diga na-

Fig. 74. — Escavazione prodotta dal rinfrangimento nella costa granitica di Maine (America Settentrionale). Secondo Ralph S. Tarr.

turale che la forza del mare deve smuovere prima di ripigliare la sua azione diretta sulla spiaggia. In parecchi punti delle coste inglesi furono del resto provocate naturalmente con mine tali franamenti ed accumuli di detriti per proteggere la spiaggia retrostante.

Formazione di *falaises* si può osservare in qualche punto del littorale ligure; il fenomeno assume però proporzioni grandiose all'isola di Jersey, alle isole Shetland, all'isola di Helgoland (fig. 75), ecc. In quest'ultima, costituita da arenarie antiche, si è verificato negli ultimi cinque secoli la scomparsa di circa $^3/_4$ della superficie primitiva e l'isola non misura più che pochi chilometri quadrati.

Laddove si hanno stratificazioni fortemente inclinate, anzichè costruire *falaises*, le onde incidono profondi solchi e fanno sporgere gli strati a modo di creste anche fortemente accentuate: il fenomeno, non raro sulle coste del Mediterraneo, è molto evidente sull'Atlantico presso il confine franco-spagnuolo.

Altre conseguenze dell'erosione marina. — Dove sono rocce facilmente erodibili l'azione prolungata delle onde provoca il distacco e l'isolamento di rupi, che assumono con il tempo forme variabilissime e più o meno regolari di monoliti, colonne, obelischi, ecc., oppure anche l'erosione determina la formazione di archi naturali, caverne e simili.

A questa speciale azione del mare vanno riferiti i *faraglioni*, che sono rilievi insulari, per lo più aspri, acuminati, fortemente corrosi, talvolta nettamente aghiformi, che sorgono dal mare in vicinanza delle coste e che rappresentano ruderi di rilievi maggiori stati distrutti parzialmente dal-

Fig. 75. — Costa a picco di Helgoland.

l'azione meccanica delle onde. Tipi di faraglioni sono i tre scogli Monacone, Stella e Scopolo all'isola di Capri, ove sono costituiti da rocce calcaree; faraglioni invece formati da rocce di origine vulcanica si hanno alle isole dei Ciclopi presso Catania e all'isola di Vulcano nel gruppo delle Eolie (figura 76).

L'azione delle onde, esercitandosi sopra i materiali franati dalle sponde, come anche su quelli trasportati da correnti torrenziali, finisce, specialmente se la spiaggia è alquanto inclinata, per originare ciottoli di forma ovoidale o sferoidale, analoga a quella dei ciottoli di fiumi.

Laddove invece la spiaggia è pianeggiante i frammenti non subiscono essenzialmente che un movimento alternato di andare e venire, donde sulle coste francesi l'espressivo nome di *galets*. È chiaro però che sulla

assumono logorandosi la caratteristica forma appiattita, che ha valso loro forma dei ciottoli ha una notevole influenza anche la natura della roccia, la sua struttura, ecc.; per cui si avrà più facilmente la forma appiattita da una roccia schistosa che non da una granulare compatta.

Col tempo il materiale ciottoloso finisce per ridursi in ghiaie e sabbie, che si depositano lungo le spiagge, oppure dalle onde e dalle correnti vengono trasportate in alto mare; tale trasporto è evidentemente più efficace per i materiali molto sottili che, in forma di limo, vengono fluitati e depositati in alto mare dando luogo alle sedimentazioni. La distanza però alla

Fig. 76. — Faraglioni nel canale di Vulcano (Isole Eolie).

quale vengono trasportati questi materiali non oltrepassa ordinariamente i 500 chilometri.

Anche lungo le spiaggie può essere operata dalle onde una cernita dei materiali non soltanto in rapporto con il volume, ma anche con il peso specifico; questo spiega l'arricchimento in minerali di ferro (magnetite, ilmenite, ecc.) che si verifica in certe sabbie del littorale francese dell'Atlantico e di qualche punto della Liguria, dell'Adriatico, ecc.

Sedimenti marini di origine minerale e di origine organica. — Si è visto ora come i materiali detritici finiscano, sotto l'azione prolungata delle onde, per ridursi a fango sottilissimo.

Questi fanghi marini, in parte dovuti anche alle alluvioni portate dai fiumi, si sedimentano e coprono vaste aree del fondo degli oceani, spingendosi anche a parecchie centinaia di chilometri dalle coste e fino alla profondità di 7000 metri; occupano poi completamente il fondo dei mari interni.

Le formazioni fangose sono specialmente estese lungo le coste delle due Americhe e per il loro colore si possono distinguere in *azzurrastri, verdastri* e *rossastri.*

Il tipo dei *fanghi azzurrastri* è il più esteso e deve il suo colore alla azione esercitata sui sali di ferro da materie organiche in decomposizione; vi si nota sovente la presenza di concrezioni noduliformi di solfuri di ferro e di manganese, come pure da esso si può avere sviluppo di idrogeno solforato. Il colore azzurrognolo tipico diventa grigio quando il materiale sia disseccato.

I *fanghi verdastri* predominano nell'Oceano Pacifico, presso le coste ove non si ha la sedimentazione di materiali trasportati dai fiumi; essi si incontrano nei fondi marini compresi fra 200 e 1300 metri ed hanno composizione analoga a quella del primo tipo indicato. Vi è però notevole la quantità grande che contengono di uno speciale idrosilicato di alluminio, ferro e potassio, noto con il nome di *glauconite;* questo minerale, la cui composizione sembra alquanto variabile, o è disseminato in minuti granuli in forma di pigmento nel materiale fangoso, oppure riempie i gusci di organismi, specialmente di Foraminiferi, modellandosi perfettamente su di essi.

Lungo le coste atlantiche dell'America del Sud si hanno invece *fanghi rossastri* caratteristici, la cui colorazione sembra prodotta dai materiali ocracei, che i grandi fiumi di quella zona dell'America portano al mare.

Intorno alle isole coralline si riscontrano fanghi formati in maggior parte da calcare con resti di Coralli o di altri organismi a guscio calcareo; nelle vicinanze invece delle isole vulcaniche i fanghi sono grigi o nerastri e possono contenere abbondanti sali di manganese, come anche alle volte discreta quantità di residui organici. Questi fanghi di origine vulcanica si estendono, ad esempio, intorno alle isole Hawaï fino alla distanza di chilometri 300.

Nelle zone centrali degli oceani, laddove l'attività delle onde non può più esercitarsi su materiali solidi e dove è pure cessata l'azione di trasporto dei materiali terrigeni, il fondo del mare è ricoperto da speciali formazioni fangose, alcune di origine organica, le altre di origine chimica. Queste ultime costituiscono un fango rosso o grigio, sparso di noduli concrezionati di ossidi di ferro e di manganese, come pure di frequenti avanzi di organismi; tale fango, che si forma molto lentamente, non ha però mai un grande spessore.

I fanghi di origine organica provengono dall'accumularsi di spoglie di organismi, per lo più microscopici, che vivono al fondo o alla superficie del mare; si hanno così i *fanghi a Globigerine*, i *fanghi a Pteropodi*, i *fanghi a Radiolarie*, ecc., denominati a seconda della natura degli organismi predominanti.

Pelagosite. — Un deposito per incrostazione, dovuto all'azione del mare, è quello che costituisce la *pelagosite*, specialmente abbondante lungo le coste del Mediterraneo.

Sovente, cioè, i ciottoli dei sedimenti litoranei o le rocce in vicinanza della spiaggia sono incrostate da una speciale vernice, in forma quasi di un vetro, e che non è altro se non carbonato di calcio, con poca silice e sostanza organica, depositato lentamente dall'acqua del mare.

CAPITOLO VI.

Azione degli organismi.

Calcari zoogenici. — Molte formazioni calcaree furono originate dallo accumularsi e dal susseguente cementarsi di conchiglie di Molluschi, specialmente Bivalvi, oppure di spoglie od avanzi parziali di animali marini a guscio calcareo, quali Crinoidi, Briozoari, Coralli, ecc. Questi *calcari conchigliari* prendono sovente un nome speciale per l'abbondanza di fossili caratteristici, esclusivi o predominanti nella formazione; così *calcare a Nummuliti, calcare ad Ammoniti, calcare ad Ippuriti,* ecc.

Un tipo speciale di calcare zoogenico è rappresentato dalla *Creta* (*craie* dei Francesi) risultante essenzialmente dall'accumularsi, con la conservazione più o meno evidente, dei gusci di organismi calcarei, specialmente Foraminiferi. Questi organismi ebbero un grande sviluppo nei mari dell'Era secondaria, ove diedero luogo a formazioni, le quali caratterizzano un periodo, il *Cretaceo,* che da esse prende il nome.

La creta costituisce un calcare terroso, morbido al tatto, privo di cemento fra i gusci, quindi facilmente spappolabile fra le dita e di una tenerezza tale da poter esser usato per scrivere sulle lavagne (il volgare *gessetto*).

In alcuni casi i calcari zoogenici, in seguito a profondi fenomeni di metamorfismo, hanno perduto la loro struttura organica, assumendo, in conseguenza di spostamenti molecolari, vera struttura cristallina, che maschera completamente la loro origine primitiva.

In altri casi invece fu conservata non soltanto la conchiglia, ma anche il suo rivestimento interno madreperlaceo, risultandone calcari che con la politura assumono riflessi cangianti e possono servire come pietre ornamentali. Tale è il caso dei *Marmi a Lumachelle.*

Altre formazioni calcaree (*calcari fitogenici*) ebbero origine dall'accumulo delle spoglie di organismi vegetali incrostati da carbonato di calcio; tali sono i *calcari a Litotamni,* i *calcari a Giroporelle,* ecc.

I calcari fitogenici non hanno però mai l'importanza dei zoogenici, essendo ristretto il numero dei vegetali (specialmente Alghe), in cui s'incontra l'incrostazione calcarea.

Brecce ossifere. — Si possono pure avere formazioni dovute ad organismi terrestri: si tratta allora di accumuli di ossami, denti, ecc. di Vertebrati e specialmente di Mammiferi, tenuti insieme (con frammenti rocciosi, concrezioni, ecc.) da un cemento, che è d'ordinario calcareo. Queste formazioni, dette *brecce ossifere,* sono generalmente colorate in rosso o in giallo più o meno intenso da inquinazioni ocracee e non hanno mai potenza rile-

vante. Esse infatti, nel maggior numero dei casi, si sono originate entro a grotte o caverne per l'accumulo degli scheletri degli animali che vi cercavano ricovero, insieme agli avanzi degli organismi di cui essi facevano preda. Brecce ossifere si hanno nei Monti Pisani, lungo le coste del Mediterraneo, in Inghilterra, ecc.

Diaspri. — Queste rocce, considerate come varietà di quarziti, possono anche ritenersi, almeno in parte, di origine organica.

I diaspri risultano infatti dalla sedimentazione in alto mare delle spoglie di organismi silicei microscopici, specialmente Radiolari, che si accumularono e si cementarono, per parziale soluzione, con altre sostanze, quali argilla, ossidi di ferro, sostanze carboniose, ecc. Tali formazioni hanno quindi colori svariatissimi: rosso, nero, giallo, violaceo, verde, ecc., anche variegato, chiazzato o zonato; sovente poi la massa è percorsa da filoncini di quarzo bianco o ialino, proveniente da soluzione e successivo deposito della silice nelle fessure della massa.

Fosforiti. — È il nome con cui sono indicati speciali depositi, per lo più concrezionati, di fosfato di calcio (allo stato di fosfato tricalcico), che si incontrano in banchi ed ammassi in certi terreni sedimentari.

La fosforite forma noduli o stratificazioni di compattezza molto variabile e di colore pure molto vario: biancastro, grigiastro, giallognolo, ecc.; la composizione poi non è mai di fosfato tricalcico puro, ma ad esso si associano impurità più o meno abbondanti, come carbonato di calcio, ossido di ferro, argilla, ecc. I depositi di fosforite hanno in certe regioni tale estensione da assumere un notevole valore commerciale, poichè la fosforite, oltre ad altre applicazioni, viene usata largamente nella concimazione dei terreni, direttamente o, meglio, previa trasformazione in fosfato monocalcico.

La formazione delle fosforiti è dovuta ad accumuli, provocati da cause variabili e sovente incerte, di avanzi di organismi animali, per lo più Vertebrati, vissuti in regioni continentali; questi avanzi, essendo stati sottratti all'azione diretta dell'aria, subirono una profonda trasformazione, nella quale avvenne la eliminazione del carbonato e la concentrazione del fosfato di calcio contenuto nelle ossa.

In parecchie località francesi si hanno importanti depositi di fosforite; così a Caylus, nel dipartimento del Tarn-et-Garonne, si trova la fosforite ad occupare delle cavità fin di 35 metri di diametro in un terreno calcareo. A Quercy la fosforite, associata ad argilla rossa, si osserva pure in rocce calcaree; in questo giacimento furono trovati oltre 50 generi di animali: Mammiferi (fra cui alcuni Lemuridi), Rettili e Batraci, che presentano una notevole somiglianza con la fauna africana; anche in parecchi punti della Normandia furono trovate fossilizzazioni perfette dovute a fosfato di calcio.

Giacimenti importanti di fosforite esistono al Portogallo, agli Stati Uniti (Florida, Carolina del Nord, Tennessee, ecc.); altri molto ricchi furono scoperti in quest'ultimi anni nell'Africa settentrionale (Marocco, Tunisia, Egitto, ecc.), ove sono intensamente sfruttati.

Vicino alle fosforiti sono da ricordare le *coproliti,* defecazioni fossili di animali, specialmente di grandi Sauri del Secondario, trovate accumulate in certe caverne dell'Inghilterra, e le *crete fosfatate,* varietà di calcare terroso ricco in fosfato di calcio, che s'incontra in certe regioni della Francia settentrionale e del Belgio. Entrambi i materiali vengono utilizzati come concimi fosfatici.

Guano. — In certe regioni insulari o littoranee delle regioni tropicali, ove si ha temperatura elevata e dove sono scarse o mancano del tutto le precipitazioni atmosferiche, possono, lungi dalle agglomerazioni umane, vivere abbondanti uccelli acquatici: gabbiani, pellicani, ecc., che si nutrono essenzialmente di pesci. Questi uccelli accumulano sul suolo i loro escrementi, a cui si aggiungono i loro scheletri quando vengono a morire, gli avanzi dei loro pasti e gli scheletri e gli escrementi di piccoli roditori, che vengono a cercare il loro nutrimento in quelle immondizie.

Si originano così con l'andare del tempo speciali formazioni di una terra bruna o grigia, a seconda delle condizioni climateriche, che ha ricevuto il nome di *guano*, dalla parola spagnuola *guanahes,* con cui sulle coste americane del Pacifico si indicano gli uccelli causa prima del fenomeno.

Il guano presenta generalmente una certa stratificazione ed il deposito può in certi luoghi raggiungere una potenza di 20-30 metri con un'estensione di molti chilometri; laddove difettano completamente le piogge si ha la varietà di guano bruno, dal caratteristico odore ammoniacale, che contiene urati, nitrati, ossalati, carbonati, fosfati specialmente di calcio e d'ammonio, cloruri di potassio e di sodio, sostanze grasse, acqua, ecc. Nelle regioni invece ove si ha precipitazione atmosferica, il guano è grigio o biancastro, senza odore, perchè, essendo lavato dalla pioggia, perde le sostanze azotate e finisce per ridursi essenzialmente al fosfato di calcio, dando origine a *fosforite.*

Il guano, che ha trovato largo impiego nell'agricoltura come concime, proviene essenzialmente dalle isole Chinchas, sulle coste del Perù, donde incominciò l'esportazione in Europa nel 1840; altri depositi esistono nel Messico, Cile, Bolivia; in parecchie isole del Pacifico e dell'Oceano Indiano, in certe regioni africane, ecc.

Quando il guano poggia sopra calcari, le acque filtranti attraverso alla massa incoerente sciolgono i fosfati solubili, che sono portati a contatto con il carbonato di calcio e lo possono trasformare in fosfato. È questa l'origine della *sombrerite,* speciale fosforite dell'isola Sombrero nelle Antille, ove, per il fenomeno ora indicato, fu trasformato in fosfato di calcio il calcare corallino che costituisce l'isola.

Sul fondo di alcune grotte, così in quella del Corno sopra Entratico nella Lombardia, furono trovati veri depositi di guano dovuto all'accumulo degli escrementi dei pipistrelli, i quali vi abitano in grande abbondanza; lo stesso fenomeno si ripete a Collepardo presso Frosinone; in talune grotte della Sardegna, ecc. Formazioni analoghe si hanno agli Stati Uniti, in Ungheria, Boemia, ecc.

Formazioni coralline o madreporiche. — All'accumulo dei polipai di parecchie specie di Celenterati, che hanno la proprietà di fissare i sali di calcio sciolti nelle acque del mare trasformandoli in carbonato, ed in particolar modo *Corallari, Madrepore, Poriti, Astree, Fungie,* ecc., aiutate nella loro attività costruttrice da *Briozoari, Idrozoari* e persino da *Alghe,* come le *Nullipore,* che si incrostano di calcare, è dovuto l'originarsi di importanti formazioni: le *scogliere* e le *isole madreporiche* o *coralline,* osservabili specialmente nell'Oceano Indiano e nel Pacifico.

La relativa limitazione dell'area di sviluppo di questi organismi (e quindi delle loro formazioni) dipende dalle speciali condizioni necessarie al loro sviluppo; essi infatti non prosperano se non dove la temperatura dell'acqua si mantiene ad una media di circa 20°, in località a profondità non inferiore ai 35-40 metri, dove l'acqua possiede una discreta salinità e dove trovano un punto d'appoggio su cui edificare le loro colonie. Ciò spiega la loro mancanza lungo le coste dirupate, sui fondi melmosi e presso la foce dei fiumi che trasportano al mare materiali alluvionali, non sviluppandosi se non in acque perfettamente limpide.

Le *scogliere madreporiche,* che possono essere in parte emerse o sporgere soltanto dall'acqua alla bassa marea (costituendo ad ogni modo anche per la loro rapida estensione un serio pericolo per la navigazione), si dispongono in forma lineare lungo i continenti, oppure cingono le isole. Le colonie si attaccano direttamente alle sponde, oppure l'accumulo dei polipai avviene ad una certa distanza dalle coste, isolando così una porzione di mare che può originare una laguna, nella quale esistono pure disseminati scogli madreporici isolati. Tuttavia i Corallari si sviluppano di più verso il mare aperto, perchè gli individui situati in quella posizione, subendo direttamente l'azione delle onde, sono evidentemente i primi a ricevere il nutrimento ed i sali portati dall'acqua.

Scogliere attaccate direttamente alla costa si osservano sulle sponde orientali dell'Africa (sia del Mar Rosso che dell'Oceano Indiano), alle isole Seychelles, alle isole della Sonda, ecc. Del secondo caso è tipico esempio la *Grande Barriera,* che per una lunghezza di circa 2500 km. si estende alla distanza di 50-100 km. dalle coste nord-orientali dell'Australia, interrotta da circa 20 brecce, che corrispondono allo sbocco di altrettanti fiumi.

Il fenomeno, per quanto meno grandioso, si ripete nuovamente lungo le coste della Nuova Caledonia.

Le *isole coralline,* che prendono più particolarmente il nome di *atolli,* comprendono una parte sommersa, più o meno estesa a modo di piattaforma, su cui si innalza l'isola propriamente detta. Questa presenta forma variabile, quadrangolare, triangolare, allungata, elissoidale, ma più particolarmente circolare (fig. 77), risolvendosi in un anello sporgente dal mare per pochi metri e che racchiude nel suo interno un bacino d'acqua più o meno ampio. Tale bacino, o *laguna,* può essere completamente sottratto all'azione del mare oppure comunicare ancora con questo mediante uno stretto canale. Per quanto vi si siano osservate profondità fin di 100 metri, nel maggiore numero dei casi la laguna è poco profonda e ciò spiega come possa talora

disseccarsi, mentre se la formazione madreporica è in regioni di abbondanti piogge, l'acqua della laguna può con il tempo diventare dolce.

Sia nelle scogliere che nelle isole, l'azione meccanico-chimica del mare contribuisce a consolidare l'edifizio corallino; infatti i frammenti strappati dalla forza delle onde si accumulano alla base della formazione, oppure triturati minutamente si riducono in sabbia che riempie le primitive anfrattuosità dei polipai, essendo poi i frammenti e la sabbia cementati dal carbonato di calcio contenuto nell'acqua.

Una parte della sabbia viene anche spinta sopra il rilievo, che tende a sollevare, e su di esso possono anche originarsi, quando vi si presti l'azione del vento, delle *dune*, che si sono viste arrivare all'altezza di 10 metri.

Numerosi atolli si hanno nell'Oceano Indiano, così le isole Maldive e Laccadive; abbondano specialmente nel Pacifico, ove sono di tale tipo le Caroline, le Tahiti, le Marshall, le Gilbert, le Tuamotù, ecc.

In origine si comprende che queste isole devono essere aride, ma con il tempo, arrivandovi semi portati dal vento, dagli uccelli o dalle correnti, vi si può stabilire la vegetazione, rappresentata in modo particolare da Palmizi; la vita animale vi è invece sempre povera, essenzialmente con Uccelli ed Insetti.

Scandagliando intorno alle isole coralline si potè constatare che la base della formazione si trova sovente a delle profondità di 500-600 metri, quindi molto maggiori di quelle a cui vivono i Corallari, che, come si è detto, non oltrepassano i 40 metri. Darwin per il primo cercò di spiegare il fatto ammettendo che fosse dovuto allo stabilirsi di colonie madreporiche sulle sponde di isole, le quali, per i fenomeni di bradisismo di cui sarà parlato in seguito, si sarebbero quindi abbassate lentamente, in modo da permettere ai Coralli di continuare le loro costruzioni nella parte superiore, mentre quelli portati sotto ai 40 metri morivano, restando però i loro polipai a formare la base di sempre nuove colonie. Così a poco a poco l'isola scompariva e le scogliere primitive diventavano atolli, nell'interno dei quali la laguna veniva a sostituirsi all'isola sommersa e permaneva per il fatto che, come si è detto, è specialmente verso il mare aperto che avviene la proliferazione dei polipai costruttori.

Questa teoria molto semplice dà ragione della forma variabile degli atolli, corrispondente a quella dell'isola primitiva; essa fu però in seguito completata dalle ricerche oceanografiche di Murray e Agassiz, che permisero di constatare come gli atolli stanno più particolarmente sopra la sommità di antiche isole vulcaniche. Queste, quando la base è molto al disotto del livello di sviluppo dei Coralli, si può ritenere che si siano abbassate per fenomeni bradisismici, oppure, quando la base non è a grande profondità, si può ammettere semplicemente che l'isola, essendo originariamente costituita da materiali incoerenti, sia stata in parte distrutta dall'azione delle onde. Lo sporgere dell'isola si potrebbe poi spiegare per sollevamenti seguìti all'abbassamento, oppure per accumulo operato dal mare di detriti staccati dai fianchi della formazione e spinti alla sua superficie.

L'azione dei Coralli, con le relative costruzioni atolliche, non è pura-

mente un fenomeno contemporaneo, ma esso ebbe invece grande importanza in certi periodi delle ère geologiche trascorse; per cui si ammette che di tale origine siano molte formazioni, anche potentissime, di dolomie del Secondario.

Tripoli. — Con il nome di *tripoli* (da Tripoli di Berberia, donde proveniva dapprima il materiale) si indica una varietà di silice idrata, mineralogicamente riferibile all'opale, che forma straterelli o banchi di potenza variabile (talora anche di diecine di metri) in mezzo a rocce sedimentarie dei terreni del Terziario e del Quaternario.

Il tripoli, detto anche *farina fossile, terra d'Infusori, Kieselguhr,* ecc., proviene dall'accumulo, in condizioni speciali di ambiente, dei gusci special-

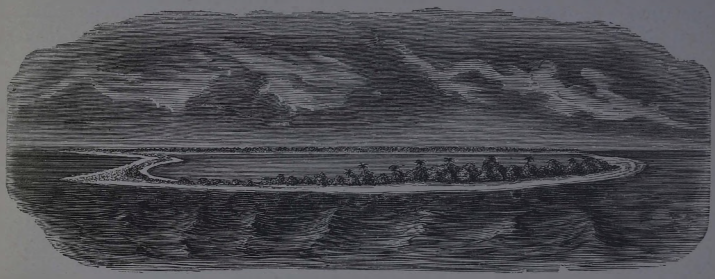

Fig. 77. — Veduta di un vero atollo (dal Dana).

mente di alghe microscopiche, le *Diatomee,* che hanno la proprietà di fissare la silice sciolta nelle acque.

Il tripoli costituisce un materiale leggero, poco consistente od anche affatto terroso e quindi con tipico aspetto di farina, ruvido al tatto, allappante, con color bianco, oppure più o meno giallognolo per infiltrazioni limonitiche; contiene talora impurità come argilla, carbonato di calcio, ecc. Proviene, oltrechè dalla Tripolitania già indicata, dalla Francia, Grecia, Boemia, Sassonia, ecc.; agli Stati Uniti si forma ancora attualmente nelle acque dei *geysers* (V. pag. 213).

In Italia esiste un deposito importante di tripoli nella regione del Monte Amiata a Castel del Piano, Pian Castagnaio, Arcidosso, Santa Fiora (donde i nomi di *Fiorite* e *Farina di Santa Fiora*), ecc.; in Sicilia poi è abbondantemente associato ai depositi solfiferi.

Il tripoli serve per la politura dei metalli ed una volta era messo in commercio soltanto con questo scopo; attualmente trova pure applicazione nella fabbricazione di laterizi leggeri, di materiali refrattari e della dinamite, nella quale funziona da eccipiente della nitro-glicerina.

Come formazione derivata dall'attività di organismi vegetali possiamo ricordare certi depositi di limonite (*ferro delle paludi*), che hanno local-

mente, come nell'Europa Settentrionale, anche importanza metallurgica e che sono dovuti all'azione di certe alghe, analoghe alle Diatomee. Questi organismi, specialmente lo *Spirillum ferrugineum*, provocano la riduzione del carbonato di ferro contenuto nelle acque, trasformandolo in sesquiossido, insolubile, che precipita e che essi possono anche fissare nei loro minutissimi gusci.

Torba. — La torba, la quale rappresenta il termine più giovane dei combustibili fossili, consiste in un accumulo di detriti vegetali, ove le diverse piante sono ancora facilmente discernibili per la loro forma, struttura, ecc. tanto che può essere facile il determinare la specie.

Questi detriti hanno subìto una parziale carbonizzazione per cui la composizione chimica, pure corrispondendo ancora abbastanza a quella della cellulosa, indica una concentrazione più o meno grande del carbonio (che vi può arrivare a 55-60% mentre nella cellulosa tipica è 52,65), con una corrispondente parziale perdita degli altri componenti.

L'accumulo si fa in posto, sott'acqua e quindi fuori del contatto dell'aria (che porterebbe non alla carbonizzazione, ma bensì alla putrefazione) per opera di vegetali viventi in laghi e paludi, o semplicemente in regioni umide.

A formare le *torbiere* concorrono parecchie piante, fra cui le Ciperacee (*Carex*), ma specialmente gli *Sfagni*, tra i Muschi, i quali quando vi sia acqua limpida (1), atmosfera umida e una temperatura media di circa 8°, si sviluppano intensamente assorbendo grande quantità di acqua e che, morendo nelle loro parti inferiori, continuano a svilupparsi dall'apice vegetativo.

Si ottengono così, con l'andare del tempo, depositi stratificati più o meno potenti, in cui non è raro il trovare avanzi di animali fossili od anche dell'uomo primitivo; in essi i detriti vegetali o sono collegati per semplice intrecciamento, oppure, quando il processo della carbonizzazione è più inoltrato, da una sostanza umica, amorfa, solubile nella potassa, colorando intensamente in bruno la soluzione. Nel giacimento si osserva verticalmente un passaggio graduale dagli strati inferiori ai superiori; la parte inferiore, più antica, è compatta, di color bruno alle volte nerastro, mentre gli strati superiori, recenti, con colore più chiaro, conservano ancora l'apparenza dei vegetali e presentano poca compattezza e coerenza.

Disseccando la torba per liberarla dall'abbondante acqua che sempre la impregna, si ottiene un discreto combustibile; sottoposta alla distillazione essa dà acido acetico e pirolignico, catrame, prodotti ammoniacali, materie oleose e persino gas infiammabili.

Le torbiere occupano grandi estensioni in Irlanda, Scozia, Germania del Nord, Olanda, Russia occidentale, Francia (nella regione delle lande), ecc.;

---

(1) Perchè si formi la torba occorre che l'acqua non contenga sali di ferro, perchè questi ossidano le sostanze organiche ed al posto di vera torba si ottiene la cosidetta *limonite delle torbiere*, pseudomorfa dei residui organici.

in Italia si sono stabilite torbiere nei laghi morenici formatisi negli anfiteatri del periodo glaciale e di questi laghi, anzi, possono segnare i limiti primitivi. Ricorderemo quelle di Trana e di Avigliana presso Torino; dei dintorni di Ivrea; della Brianza, del Garda, ecc.

Torba si può anche formare sui fondi pianeggianti di valli, ove l'acqua ristagni e, in condizioni speciali, persino sopra i versanti dei monti; in certe regioni boschive poi i detriti vegetali accumulati sul suolo umido, trovandosi parzialmente al riparo dell'atmosfera per la vegetazione soprastante, invece di putrefare dànno una sostanza analoga alla torba.

La torba si può anche formare lungo il corso dei fiumi e nelle loro anse abbandonate, ove si accumula vegetazione acquatica; tale fenomeno si verifica in diversi punti del corso del Po. Finalmente si incontra pure della torba nei delti dei grandi fiumi, anche di regioni calde (così alla foce del Mississippi), per l'accumulo di detriti vegetali fluitati dalla corrente nei periodi di piena e ricoperti in seguito dalle alluvioni melmose.

Altri combustibili fossili. — Oltre alla torba, che, come abbiamo visto, è una formazione corrispondente all'attualità od almeno all'Era quaternaria, vi sono altri combustibili fossili provenienti pure dalla carbonizzazione di vegetali, per azione del calore terrestre attraverso ai tempi geologici, essendo stati inizialmente sottratti all'azione diretta della atmosfera.

Questi combustibili, essendosi formati in tempi antichissimi, hanno subìto una carbonizzazione molto più profonda e sono la *lignite*, il *litantrace* e l'*antracite;* come ultimo termine della carbonizzazione può anche in certi casi essere considerata la *grafite*. Questa però differisce nettamente dai carboni propriamente detti, perchè in essa i fenomeni di metamorfismo hanno fatto comparire la cristallinità, cancellando ogni traccia della struttura organica primitiva.

La lignite (1) corrisponde alle formazioni dell'Era terziaria; il litantrace e l'antracite essenzialmente a quelle del periodo dell'Era primaria detto appunto *Carbonifero*, siccome sarà indicato in seguito. Tuttavia nel l'Australia, nell'India, nell'Africa Meridionale ed in alcune località degli Stati Uniti, il litantrace si trova in terreni più recenti, cioè del Permiano, mentre localmente si sono poi anche trovati depositi carboniferi nel Giura e nel Cretaceo, per quanto in generale si possa dire che la formazione del carbone sia mancata durante l'Era secondaria.

Il criterio di classificazione dei carboni fossili è quindi puramente geologico, il che spiega perchè chimicamente non vi sia sempre una distinzione netta fra gli uni e gli altri, avendosi per esempio torbe contenenti 61% di carbonio, mentre certe ligniti ne contengono soltanto 54%; litantraci contenenti 60 %, mentre certe ligniti ne contengono 70 %, ecc.

Circa poi l'origine dei carboni fossili due sono essenzialmente le ipotesi:

---

(1) Si vedano i caratteri chimici e mineralogici dei varii combustibili fossili in Roccati, *Elementi di Mineralogia*, Torino, Unione Tip.-Editrice.

1ª *Ipotesi della formazione in posto* o *formazione autoctona;* in questa si ammette che i carboni rappresentino il prodotto della carbonizzazione in posto di foreste di Crittogame gigantesche, vissute in regioni paludose o di lagune.

La distruzione di tali foreste e la loro sottrazione all'azione dell'atmosfera sarebbero state dovute ad abbassamento del suolo e conseguente invasione delle acque, le quali, portando sedimenti, finivano per ricolmare la depressione stessa permettendo nuovamente lo stabilirsi della vegetazione. Il fenomeno con l'andar del tempo si sarebbe ripetuto tante volte quanti sono gli strati di carbone esistenti nel giacimento.

Appoggiano tale ipotesi il fatto che in ciascun deposito di carbone dominano determinate specie vegetali; la natura del muro, che nei giacimenti carboniferi ha sovente i caratteri di un antico suolo, ed il fatto che in parecchi luoghi si sono trovate piante aventi ancora la loro posizione primitiva e cioè le radici disposte normalmente alla stratificazione.

Però se l'ipotesi autoctona può valere per i depositi di media potenza, essa è insufficiente a spiegare l'origine di quelli la cui potenza raggiunge centinaia di metri, tanto più quando si pensi che ad ottenere un metro di litantrace ne occorrono circa 8 di vegetali e fino 10 per un metro di antracite.

2ª *Ipotesi del trasporto* o *formazione alloctona.* Nel caso di depositi di grande potenza è forse più razionale l'ammettere una *formazione alloctona,* nella quale immense foreste continentali sarebbero state distrutte le potenti inondazioni, mentre i loro detriti trasportati ed accumulati nel mare, o in speciali bacini lacustri, venivano poi ricoperti da alluvioni. Un fenomeno analogo si manifesta del resto anche ai giorni nostri, in cui vediamo formarsi giganteschi accumuli di legname fluitato ed ammassato da correnti fluviali; ricordiamo a questo proposito il Rio Rosso, di cui già si parlò a pag. 125, e la foce del Mississippi, ove si è detto della formazione alloctona di torba.

A favore della teoria del trasporto stanno parecchi argomenti, fra cui specialmente la frequente mancanza di parallelismo tra gli strati di carbone e le rocce sedimentarie incassanti ed il fatto che sovente il giacimento risulta di detriti vegetali riuniti come se si fossero accumulati alla rinfusa su di un piano orizzontale.

Perciò, senza voler generalizzare, essendo le due ipotesi egualmente possibili e probabili, è meglio ammettere che l'origine dei combustibili fossili possa essere stata a seconda dei casi autoctona od alloctona, come del resto avviene anche oggidì per la torba.

Chiudiamo l'argomento indicando come attualmente non si ammette da tutti che i diversi carboni siano i risultati di una carbonizzazione sempre più inoltrata nel passare dalla torba alla lignite, al litantrace ed all'antracite, ma che invece essi si siano formati sin dall'origine, con i caratteri che presentano attualmente, per azione di speciali fermenti solubili e di microrganismi.

Così la formazione della torba non sarebbe una semplice carbonizzazione

dovuta all'azione lenta del calore terrestre, ma un fenomeno molto più complicato, nel quale la cellulosa si trasformerebbe in torba in conseguenza di una fermentazione anerobica prodotta da microrganismi. Questi toglierebbero carbonio ed ossigeno per formare anidride carbonica, mentre una parte dell'idrogeno sarebbe messa in libertà sotto forma di acqua e di metano; tale fermentazione dovrebbe portare alla distruzione completa della cellulosa se non avesse un limite nella produzione di sostanze antisettiche (acido umico ed ulmico), che distruggerebbero i microrganismi, arrestando il fenomeno.

Un fatto analogo, con effetti più o meno intensi, si sarebbe avuto nella produzione dei diversi carboni fossili e degli idrocarburi liquidi o solidi che li accompagnano, come anche del metano sempre abbondante nei depositi di carbone; essi proverrebbero dall'azione di speciali fermenti e microrganismi che, secondo il Renault, sarebbero stati, ad esempio, il *Micrococcus lignitum* per la lignite, il *Bacillus carbo* per il litantrace, ecc., la cui azione sarebbe stata arrestata più o meno rapidamente dalla produzione di un ambiente antisettico, che ne impediva l'ulteriore attività.

Kjoekkenmoeddings. — Questo vocabolo danese, che significa « avanzi di cucina », serve ad indicare certe speciali formazioni dovute all'azione dell'uomo vissuto in principio dell'Era quaternaria.

I *kjoekkenmoeddings* si trovano ordinariamente presso le coste del mare, o a poca distanza, formando curiosi rilievi più o meno regolari e potenti; la loro lunghezza oscilla fra 100 e fin 300 metri con una larghezza di 40, 50 e fin 60 metri, mentre l'altezza è minima, 2 a 3 metri.

I rilievi sono costituiti dall'accumulo di conchiglie marine (specialmente *Ostree*), dei cui molluschi si cibava l'uomo primitivo e che dovevano essere abbandonate a poca distanza dalle abitazioni; in mezzo alle conchiglie si osservano frequentemente avanzi di focolari, mentre più rari sono i prodotti dell'industria umana, come selci lavorate, strumenti in pietra, osso o corno, frammenti di terraglie, ecc.

Gli ossami che accompagnano le conchiglie sono essenzialmente di animali selvatici ed in particolar modo di cervo, di uro, di cinghiale, ecc.; di animali probabilmente domestici non furono trovati che avanzi di cani.

I *kjoekkenmoeddings* s'incontrano sulle coste della Danimarca (ove furono prima scoperti e studiati) e vi hanno importanza non solo per lo studio dell'uomo preistorico, ma anche per la Geologia; infatti si ha in essi una prova del sollevamento delle spiagge nelle regioni danesi settentrionali, molti trovandosi ora anche a 10 chilometri dal mare, presso il quale furono originariamente accumulati. Di più ci porgono una buona prova delle mutazioni climateriche avvenute dopo la loro formazione, poichè, mentre sono essenzialmente costituiti da conchiglie di ostriche, attualmente tale mollusco non vive più affatto nella regione.

Formazioni analoghe ai *kjoekkenmoeddings*, a base ancora di conchiglie di ostriche, furono riscontrate in Irlanda, sulle coste della Francia, del Portogallo e fors'anche della Sardegna; analogamente in alcuni punti delle coste del Giappone, all'isola di Cuba ed al Brasile. Quivi, appunto per l'abbondanza degli avanzi di ostriche, furono indicate con il nome di *ostreiras* e vengono sfruttate per la preparazione della calce. Agli Stati Uniti si osservano consimili formazioni, dette *shell-heaps;* di queste alcune esistono anche lungo certi fiumi e contengono essenzialmente conchiglie di molluschi d'acqua dolce.

Di origine puramente terrestre sono invece alcuni *kjoekkenmoeddings* dell'Ariège, in Francia, ove, con oggetti di pietra ed altri avanzi dell'uomo

primitivo, vi sono in grande quantità conchiglie di chiocciole, che dovevano servire all'alimentazione degli abitanti della località.

Notiamo infine che pure ai giorni nostri vi sono popolazioni australiane e fuegine che accumulano grandi quantità di conchiglie nelle vicinanze delle loro abitazioni.

ENDODINAMICA

CAPITOLO VII.

Calore terrestre.

Grado geotermico. — Nel riscaldamento della crosta terrestre l'azione dei raggi solari si fa sentire a poca profondità; infatti le variazioni diurne non oltrepassano i 2 metri e quelle di stagioni non vanno ordinariamente oltre i 30 metri. Per ogni regione si ha così in profondità, ed in diretto rapporto con le condizioni climateriche, una zona, alla quale la temperatura si mantiene costante ed uguale presso a poco alla media annua esterna; a questo proposito è noto come i termometri conservati nei sotterranei dell'Osservatorio astronomico di Parigi, alla profondità di 29 metri, segnano costantemente una temperatura di 11°,7, che è appunto quella media della città.

Per lo stesso motivo abbiamo visto a suo tempo che le sorgenti hanno temperatura costante ed i sotterranei e le cantine dànno d'estate un senso di fresco, di caldo in inverno, che non è se non la conseguenza del variare della temperatura esterna, mentre quella interna si mantiene costante.

Se la Terra si risentisse soltanto dell'azione termica dei raggi solari, si dovrebbe, a partire dallo strato interno a temperatura costante, non più avere mutamenti e l'uguale temperatura dovrebbe conservarsi inalterata fino al centro; ora si verifica invece un aumento con la profondità, fatto che viene a dimostrare che la Terra ha un suo calore proprio. Questo deve provenire in gran parte dal calore primitivo, quando essa si trovava allo stato fluido, per quanto una parte possa pure essere conseguenza delle continue reazioni chimiche che avvengono nell'interno del globo.

Si dà il nome di *grado geotermico* o *profondità geotermica* alla quantità espressa in metri di cui bisogna abbassarsi nella crosta terrestre per trovare l'aumento di un grado di temperatura, a partire dallo strato a temperatura costante.

Il *grado geotermico* non è un fattore costante per qualunque punto della Terra: presenta invece notevoli oscillazioni da regione a regione, specialmente per la diversa conducibilità termica delle rocce. Le condizioni poi della temperatura interna del globo sono rivelate essenzialmente dagli studi e dalle osservazioni fatte nei pozzi di miniere di minerali metalliferi

e di carboni fossili, nei pozzi artesiani, nei lavori sotterranei, nei trafori di gallerie ferroviarie, ecc.

Nei pozzi di miniere di minerali metalliferi, in causa della rilevante conducibilità termica di questi minerali, il grado geotermico è poco elevato: così nelle miniere di Freiberg è di circa 30 metri; in quelle della Cornovaglia oscilla fra 16 e 46 m.; in Ungheria fu determinato di circa 41 m., mentre a Montecatini ed in altre miniere della Toscana non è che di 13 e talora 11 metri.

Nelle miniere di carboni fossili, ove il calore conseguente al grado geotermico rende sovente penosa la lavorazione, i valori sono alquanto diversi; così fu trovato nel Belgio 34 metri; in Francia da 15 a 27 m.; in Inghilterra da 15 a 33 m., raggiungendosi eccezionalmente 39-41 m. Per i pozzi artesiani il grado geotermico oscilla fra 20 e 40 m., essendo, ad esempio, 31,8 in quello di Grenelle, nell'interno di Parigi.

Talvolta si verificano delle anomalie curiose nel grado geotermico; possiamo così citare quella che si verifica nei giacimenti di salgemma di Sperenberg, presso Berlino, ove i pozzi scendono fino alla profondità di circa 1300 metri; ora in quella località tra 27 e 600 m. l'aumento di temperatura è di 1° per 25 m., mentre in seguito diventa di 1° per 132 metri. Viceversa in una trivellazione della regione renana fu trovato 60° alla profondità di 800 m. e 106° a quella di m. 1050, con un valore quindi del grado geotermico = 10 metri; ciò senza che vi sia nella regione, tutta di formazioni sedimentarie, alcuna manifestazione endogena.

I valori massimi per il grado geotermico furono riscontrati nei trafori di gallerie ferroviarie in massicci cristallini, avendosi come media 50 metri per il Frejus ed il Gottardo, 45 per il Sempione, ecc.

In conclusione si può ammettere che nelle regioni di pianura il grado geotermico corrisponde a circa 30 metri, mentre arriva a 45 m. nell'interno delle montagne; questa condizione speciale delle montagne si spiega con la maggior conducibilità termica delle rocce cristalline, con la relativamente maggior superficie irradiante e con l'azione refrigerante esercitata dalle acque d'infiltrazione provenienti dalla fusione delle nevi e del ghiaccio.

Il grado geotermico ha importanza nella spiegazione della temperatura sovente elevata delle acque provenienti da profondità; praticamente la sua conoscenza ha utilità massima quando si abbiano da intraprendere lavori sotterranei e specialmente gallerie ferroviarie, potendo l'elevarsi della temperatura costituire un ostacolo insormontabile nell'avanzata dello scavo.

È tuttavia opinione comune che l'aumentare della temperatura nell'interno della Terra non deve conservare sino al centro la progressione ora indicata; si ritiene invece che arrivando ad una certa profondità debba cessare l'aumento, conservandosi in seguito temperatura costante fino al centro della Terra, temperatura che secondo i calcoli di alcuni Geologi sarebbe di circa 4000°.

Condizioni attuali dell' interno del globo. — L'argomento del grado geotermico e delle condizioni di temperatura nell'interno del suolo ci porta a consi-

derare brevemente la natura e lo stato fisico dei materiali costituenti le parti profonde del globo.

Già si è detto che la Terra dallo stato fluido primitivo è andata man mano, per il successivo raffreddamento, solidificandosi; ora a questo riguardo in quali condizioni si trova attualmente?

Senza entrare in particolari circa le varie ipotesi ed alle discussioni a cui dànno luogo, ci limiteremo a dire che i Geologi non sono d'accordo sull'argomento.

Vi è infatti chi ritiene che la solidificazione è ora completa; altri invece ammettono che vi sia una corteccia solida di spessore rilevante sovrastante ad un nucleo fluido relativamente piccolo; altri che sotto la crosta propriamente detta esistano materiali solidi, è vero, ma semplicemente per l'alta pressione a cui sono sottoposti, trovandosi però ad una temperatura alla quale normalmente dovrebbero essere allo stato fluido.

Opinione avvalorata da parecchi fatti, di cui avremo occasione di intrattenerci in seguito parlando dei Terremoti e del Vulcanismo, portano piuttosto ad ammettere l'esistenza di una crosta solida, o *litosfera*, di spessore variabile da luogo a luogo e localmente di potenza relativamente piccola, sotto la quale si troverebbe una zona fluida (continua per certi autori, per altri invece discontinua), la *pirosfera*, rappresentata verso l'alto da materiali litoidei di natura acida, ricchi cioè in silice libera e silicati alcalini, dai quali si passerebbe gradatamente verso il basso a materiali sempre più basici, poveri o privi affatto di silice libera e rappresentati essenzialmente da silicati di magnesia e ferro. Questi materiali basici rappresenterebbero, si può dire, la scorificazione della parte più interna del globo, o *barisfera*, costituita da un nucleo metallico, reso solido, malgrado la temperatura elevata, dall'alta pressione a cui è sottoposto.

Acque termali, termo-minerali e minerali. — Una delle prove più convincenti dell'aumentare della temperatura con la profondità l'abbiamo nelle *acque termali,* la cui temperatura, tranne il caso in cui sia dovuta a fenomeni locali, come è per quelle esistenti nelle regioni vulcaniche, è conseguenza dell'avere essa, prima di ritornare alla superficie del suolo, circolato, seguendo linea di frattura, a profondità più o meno grande, ove si sarebbe riscaldata e mineralizzata o direttamente, oppure, forse meglio, per l'incontro di altre acque o vapori giungenti dal basso (1).

Già si è detto (pag. 103) come le acque termali (le quali hanno per lo più un regime molto regolare) possono distinguersi in *relative* ed *assolute,* potendo queste ultime raggiungere temperature molto elevate di 70°, 80° ed anche più gradi.

Generalmente però le acque provenienti da profondità non sono soltanto termali, ma sono pure *mineralizzate,* poichè nel loro lungo tragitto nella crosta terrestre, e data anche la loro temperatura elevata, hanno potuto sciogliere molte sostanze minerali con cui sono venute a contatto; ne risultano così le *acque termo-minerali,* le quali presentano pure sovente proprietà radio-attive.

Le sostanze disciolte nelle acque minerali sono quindi molto variabili e possono anche essere molto abbondanti; citeremo come esempio le acque

(1) Ricordiamo che vi sono autori i quali ammettono che le acque termali non siano di semplice origine meteorica (cioè di originaria penetrazione dall'esterno), ma che possano derivare da magmi profondi; sarebbero queste le cosidette *acque giovanili.*

di Karlsbad in cui furono dosati i seguenti elementi: sodio, potassio, magnesio, ferro, manganese, silicio e alluminio, mentre furono determinati in tracce: il iodio, il bromo, il fluoro, il selenio, il fosforo, il boro, l'antimonio, l'arsenico, l'oro, il rame, lo zinco, il cobalto, il nichelio, il titanio, il bario, lo stronzio ed il litio.

Si capisce facilmente come la complicata composizione delle acque minerali ne renda sovente difficile l'analisi, poichè vi sono casi ove la presenza di certi elementi non può essere determinata che con mezzi indiretti, quali l'analisi spettrale o l'analisi del deposito. Quest'ultima, ad esempio, porta ad ammettere che le acque di Kissingen contengono 0,0000015 di stagno per ogni litro e quelle di Rippolsdau, nel Baden, 0,00000037 di piombo.

Classificazione delle acque minerali. — Varie sono le classificazioni che furono proposte per le acque minerali; alcune però hanno un'importanza relativa dal lato scientifico, perchè essendo fatte specialmente a scopo terapeutico, tengono sovente conto essenzialmente della presenza di certi elementi che vi esistono in piccola quantità.

Fra le classificazioni, una buona è quella proposta dal Daubrée, il quale suddivise le acque minerali in sette classi: *acque clorurate, cloroidriche, sulfuree, solforiche, solfatiche, carbonate,* e *silicce.*

Le acque clorurate, solfatiche e carbonate furono poi dal Daubrée divise in sotto-classi prendendo come base la presenza in esse degli elementi sodio, calcio, magnesio, alluminio e ferro.

Acque clorurate. — Sono acque ordinariamente non termali contenenti cloruri disciolti, specialmente cloruro di sodio.

La loro mineralizzazione proviene per lo più dall'aver esse attraversato depositi di sale od argille salifere; di queste sorgenti molte se ne incontrano nelle colline di Torino e del Monferrato, lungo tutto l'Appennino, in Sicilia, ecc.

Oltre al cloruro di sodio, le acque clorurate possono contenere cloruro di magnesio, cloruro di potassio, carbonato e solfato di calcio, anidride carbonica, idrogeno solforato, bromuri e ioduri, carburi di idrogeno, ecc.

Acque cloroidriche. — Queste, che contengono acido cloridrico libero, sono rare e sempre termali, essendo strettamente collegate con fenomeni vulcanici.

Fra le acque cloroidriche possiamo ricordare quella di White Island nella Nuova Zelanda, che contiene circa il 10 % di acido cloridrico, e quelle del Rio Vinagro, che scende dal vulcano Puracè nella Cordigliera delle Ande. Secondo le ricerche di Boussingault, il Rio Vinagro, la cui portata è di 34.000 metri cubi nelle 24 ore, trasporta giornalmente 42.000 kg. di acido cloridrico.

Secondo Gay-Lussac la presenza dell'acido cloridrico nelle acque vulcaniche proverrebbe da reazioni ad alta temperatura tra il cloruro di sodio, il vapore d'acqua e la silice, per cui si formerebbero silicati alcalini mettendosi in libertà dell'acido cloridrico.

Acque sulfuree. — Sono ricche di idrogeno solforato che imparte loro il caratteristico odore di uova putrefatte; possono pure contenere solfuri alcalini o alcalino-terrosi e, in quantità minore, solfati, cloruri, ecc.

Di acque sulfuree ne esistono delle fredde e delle termali, corrispondentemente alla loro origine, che è essenzialmente duplice; le fredde infatti provengono da terreni sedimentari contenenti solfati (specialmente di calcio, gesso o anidrite), di cui è avvenuta la riduzione per azione di sostanze organiche, con produzione di solfuri e, per decomposizione di questi, di idrogeno solforato. Questo spiega la presenza delle acque sulfuree nelle vicinanze dei depositi gessiferi.

Le acque sulfuree termali s'incontrano nelle regioni vulcaniche, con le emanazioni delle quali sono connesse; oppure, quando sgorgano in regioni non vulcaniche, si devono ritenere come provenienti da grandi profondità. Questa sarebbe l'origine delle acque sulfuree di Vinadio e di Valdieri, nelle Alpi Marittime, la cui temperatura raggiunge i 65°.

Acque solforiche. — Sono acque contenenti acido solforico libero; esse sono collegate con i fenomeni del vulcanismo e quindi termali, provenendo il loro acido dall'ossidazione dell'anidride solforosa, sempre abbondante nelle emanazioni vulcaniche.

Come si verifica del resto anche per le cloroidriche, la mineralizzazione delle acque solforiche non si spinge a grande distanza dal punto di efflusso, reagendo in breve l'acido quando viene a contatto con le diverse sostanze minerali.

Esempio di acqua solforica abbiamo nel già citato Rio Vinagro, il quale, oltre all'acido cloridrico, porta giornalmente 46.000 chilogrammi di acido solforico; altra acqua solforica termale è quella di Oak-Orchard, negli Stati Uniti, la quale contiene, oltre a parecchi solfati, 0,2% di anidride solforica.

Acque solforiche non termali si possono però incontrare in prossimità dei giacimenti di solfuri metallici e specialmente di pirite; il bisolfuro alterandosi in presenza degli agenti atmosferici dà del solfato di ferro, liberando contemporaneamente del solfo che per ossidazione dà acido solforico. In questo tipo di mineralizzazione l'acqua contiene però abbondantemente solfato di ferro, donde il suo caratteristico sapore.

Acque solfatiche. — Contengono solfati varii, ma non mai acido solforico libero, mentre non è raro che vi sia in esse dell'idrogeno solforato, avendosi così passaggio alle acque sulfuree. Non di rado contengono pure dei carbonati; così l'acqua di Veglio, nell'Ossola, contiene insieme a 5,7 ‰ di solfato di calcio, circa 6 ‰ di carbonati.

Le acque solfatiche furono dal Daubrée divise in *sodiche*, *calciche*, *magnesiache*, *alluminifere* e *ferrifere* a seconda della base prevalente; parecchie di queste acque hanno importanza terapeutica.

Fra le solfatiche, comuni sono le acque *calciche*, che contengono cioè del gesso (*acque selenitose*); esse possono dar luogo ad incrostazioni e concrezioni analogamente a quanto già si è visto per il carbonato di calcio (pag. 108).

Acque solfatiche alluminifere, per lo più termali, si hanno in regioni vulcaniche (così all'isola di Vulcano) per la decomposizione delle roccie feldspatiche sotto l'azione delle emanazioni solforose, con produzione di solfato di allumina, a cui possono aggiungersi altri solfati doppi del gruppo degli allumi (potassico, ecc.).

Acque carbonate. — Possono essere fredde o termali e contengono disciolti dei carbonati, oppure dei bicarbonati in presenza di un eccesso di anidride carbonica libera. L'anidride carbonica delle acque può poi provenire dall'atmosfera, ma la sua presenza, specialmente se abbondante, è più comunemente collegata con le emanazioni vulcaniche.

Fra i carbonati che frequentemente esistono nelle acque possiamo ricordare quello di sodio, il quale forma i due minerali detti *Natron* ($Na_2CO_3.10H_2O$) e *Trona* ($Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$) che s'incontrano nelle acque di certi laghi dell'Egitto, dell'India, degli Stati Uniti, ecc., e che ebbero già importanza per l'estrazione della soda; di magnesio, di ferro (le cui acque dànno intorno al punto di efflusso un deposito di limonite ocracea dovuta alla decomposizione del carbonato di ferro), e specialmente di calcio, dell'abbondanza del quale si è già discorso nel capitolo II.

Acque silicee. — Tutte le acque contengono, in quantità più o meno grande, della silice disciolta.

Il nome però di acque silicee si riserva essenzialmente per quelle dei *geysers,* di cui sarà parlato a proposito dei fenomeni secondari del vulcanismo, come pure allora si dirà delle *acque boriche*, che, contenendo dell'acido borico libero, dànno luogo ai *soffioni* e *lagoni.*

CAPITOLO VIII.

Movimenti del suolo.

a) Terremoti.

Definizione di terremoto. I diversi tipi di scosse. — Col nome di *terremoti, sismi* o *seismi,* si indicano i movimenti repentini del suolo, movimenti la cui intensità molto variabile va da un fremito, appena percettibile dagli apparecchi registratori, ai grandi terremoti che portano la devastazione e la morte in estese regioni. Fortunatamente il numero delle scosse disastrose è ridotto; ma nondimeno sono annualmente oltre 30.000 i movimenti sismici, *macrosismi* e *microsismi,* risentiti cioè dall'uomo o semplicemente segnalati dagli apparecchi di cui si dirà in seguito.

Le scosse di terremoto si usano essenzialmente riferire a tre tipi:

1° *Scosse verticali* o *movimenti sussultori,* in cui il movimento si trasmette dal basso all'alto con azione meccanica talora straordinaria; così durante il terremoto della Calabria del 1783 parecchie case furono addirittura proiettate per aria e nel terremoto del Cile del 1797 molti individui,

nella regione del Rio Bamba, furono lanciati da una sponda all'altra del fiume, venendo a cadere sopra una collina alta 100 metri.

2° *Scosse orizzontali*, abbastanza comuni, il cui movimento ha una direzione determinata, che corrisponde generalmente a quella secondo la quale avviene la caduta degli edifizi, specialmente se elevati al disopra del suolo od isolati, come campanili, colonne, ecc.

3° *Scosse ondulatorie*, nelle quali, se violente, la superficie del suolo si muove in modo paragonabile a quello di un mare agitato; di questo tipo fu il terremoto di San Francisco nel 1906, durante il quale si riferisce che era impossibile agli abitanti il tenersi in piedi, e quello pure della Calabria del 1783, in cui si videro gli alberi inclinarsi al punto di venir a toccar il suolo con i loro rami.

Si è sovente parlato di *scosse vorticose* o *rotatorie*, la cui esistenza sembrerebbe dimostrata dal frequente spostamento con parziale rotazione di monumenti, colonne, obelischi, ecc., sulla loro base (fig. 78). In realtà pare che non sia da ammettersi un tale tipo di scossa, i cui effetti apparenti sarebbero dovuti a speciali spinte tangenziali.

Di rado però un terremoto si manifesta con un unico tipo di scossa, avendosi sovente la combinazione dei diversi tipi e risultandone un movimento molto complesso, nel quale si può tuttavia determinare che vi è una *direzione di massima elongazione* delle onde sismiche. Secondo questa direzione si verifica sovente che sono risparmiate le facciate degli edifizi; siccome poi tale direzione di massima elongazione si ritrova generalmente identica in una stessa località nel ripetersi di terremoti, così conviene tener conto di essa quando si abbia da riedificare un paese dopo una catastrofe sismica.

Raramente poi un terremoto costituisce un fenomeno isolato; esso invece è per lo più seguìto da altre scosse (*terremoto a sciame*) variabili e decrescenti di intensità e di frequenza e che possono continuarsi anche per lungo tempo. Notiamo ancora che in generale la scossa maggiore di un terremoto è preceduta da una minore, che ne costituisce la *scossa premonitoria*.

Intensità e durata del fenomeno sismico. — Alcune scosse di terremoto sono isolate e rappresentate da un movimento unico con durata più o meno prolungata, anche di una semplice frazione di secondo; in molti casi invece il fenomeno si prolunga a lungo ed occorrono anche parecchi mesi, perchè il suolo della regione agitata ritorni in perfetta tranquillità.

Così a Viège, nel Vallese, si ebbe nel 1855 una forte scossa risentita in tutta la Svizzera, dopo la quale per la durata di quattro mesi continuò una successione di scosse minori; nell'Honduras si verificarono nel 1856 oltre 100 scosse in una settimana ed alle isole Hawai nel 1868 il suolo fu agitato per parecchi mesi, avendosi non meno di 2000 scosse nel solo mese di marzo. Medesimamente durante il 1891 si ebbero a Gifu nel Giappone 1360 scosse in 12 giorni, e nella Focide, in Grecia, in un periodo di attività sismica durata per tre anni (1870-1873), si registrarono non meno di 500.000 scosse.

Certe regioni sono predestinate (e si vedrà in seguito il perchè) ai

movimenti anche disastrosi del suolo; tali sono in Italia le Calabrie e la Sicilia; le Antille, le Repubbliche dell'America Centrale, le coste Americane del Pacifico, e specialmente il Giappone. Quivi statistiche che datano dal 416 d. C. dànno una media di 1000 movimenti sismici all'anno, con terremoti disastrosi ogni 6 anni circa; l'ultimo, quello del 1923, con una lunga successione di scosse, di cui oltre mille si ebbero nel solo mese di settembre, portò con la catastrofe del 1° settembre alla morte di 100 mila persone.

I danni materiali arrecati dal terremoto non sono necessariamente collegati con la durata della scossa, essendo talora sufficiente una scossa anche di minima durata per provocare immensi disastri; ricorderemo a questo proposito come nel 1883, a Casamicciola, una scossa di 16 secondi bastò per rovinare 1200 case, causando la morte di oltre 2000 persone.

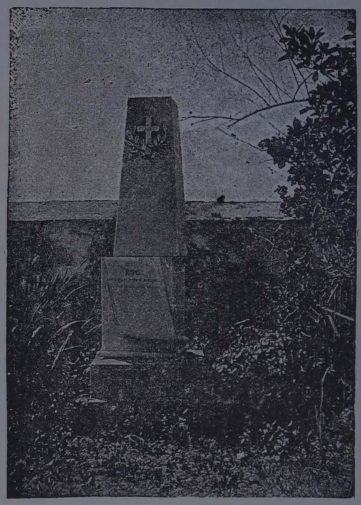

Fig. 78. — Monumento funebre del Camposanto di Zante, che porta tracce di movimento di rotazione subito pel terremoto del 1893.

Certi terremoti registrati dalla storia hanno una triste celebrità per il numero delle vittime e per i danni recati; così nel 526 d. C. un terremoto fece sul litorale del Mediterraneo oltre 200.000 vittime; nel 1693 si ebbero in Sicilia 60.000 morti, mentre il terremoto di Lisbona del 1755 causò la morte di 90.000 persone e 100.000 quello calabro-sicuro del 1783, durante il quale Messina fu già completamente distrutta. Il terremoto del 1908 che devastò nuovamente Messina e Reggio Calabria e quello dell'Abruzzo nel 1913 sono troppo vicini alla memoria di ciascuno perchè sia necessario insistere su di essi!

Estensione dei movimenti sismici. — Variabilissima può essere la porzione di superficie terrestre che risente l'azione di un terremoto.

Infatti da fenomeni affatto locali, ove la scossa si limita ad un'area piccola, come nel terremoto di Casamicciola, che non fu neppur avvertito dagli strumenti dell'osservatorio vesuviano, si passa ad altri che si estendono ad aree relativamente ristrette, come quello del 1908 che distrusse Messina e Reggio, per arrivare finalmente ad altri che si estendono a grandissima parte della superficie terrestre. Così l'area del terremoto di Lisbona nel 1755 fu di almeno 3 milioni di chilometri quadrati; nel 1856

il movimento sismico si estese a tutto il bacino del Mediterraneo, come si può dire nuovamente di quello della Liguria del 1887, mentre nel 1884 il terremoto dell'Andalusia si fece sentire in tutta Europa.

Il punto dell'interno della crosta terrestre da cui si inizia il movimento sismico è detto *centro* od *ipocentro;* esso è sempre difficile da determinare con precisione, per quanto siano stati preconizzati all'uopo parecchi metodi. Ad ogni modo non sembra mai trovarsi a profondità superiore a 30-40 km., eccezionalmente 60; talora anzi è molto minore. Così nel terremoto della Liguria nel 1887 sembra che non fosse che a 7 od 8 km. (18 secondo altri calcoli), a 18 in quello dell'Andalusia nel 1884, e appena a 400 m. nel terremoto che rovinò Casamicciola nel 1883. Il fatto indica che il punto di partenza dei movimenti sismici ha sempre la sua sede nella parte solida della crosta terrestre e che si trova ad una distanza dalla superficie almeno metà più piccola di quella ove il grado geotermico permetterebbe di supporre l'esistenza di rocce in fusione.

Epicentro si dice il punto della superficie terrestre che corrisponde esattamente all'ipocentro in profondità. A differenza di questo, l'epicentro è facilmente determinabile, essendo il punto ove dapprima si fa sentire l'azione del movimento; occorre però notare che in generale non è semplicemente un punto, ma bensì una linea più o meno estesa, *epiasse,* la quale corrisponde ad un accidente tettonico della regione, oppure anche tutta una porzione della crosta terrestre che viene scossa contemporaneamente, anche per un'estensione rilevante.

Propagazione dell'onda sismica. — Il movimento di vibrazione impresso dalla scossa ai materiali terrestri si propaga alla superficie in tutti i sensi secondo un circolo od un'elisse attorno all'*area pleistosistica*, cioè quella che sta immediatamente sull'ipocentro e dove sono maggiori gli effetti meccanici. La velocità di propagazione, che si può determinare dall'intervallo di tempo che intercede tra il manifestarsi del fenomeno in due località di distanza nota, è variabile; così da 130 metri al secondo (come nel terremoto del Perù nel 1868) può sorpassare i 5000 metri, come in quello di Charleston del 1886; vedremo che la velocità di propagazione è ancora maggiore nell'interno della crosta terrestre.

Sulla velocità di propagazione hanno influenza parecchi fattori, ma specialmente la natura litologica del luogo, essendo massima per le regioni a rocce cristalline e compatte, minima invece nei terreni incoerenti, quali gli alluvionali, specialmente quando questi abbiano una potenza rilevante, il che spiega la minima sismicità di certe zone in confronto ad altre anche vicine.

In generale il movimento sismico si risente molto più alla superficie del suolo che non in profondità, per cui non sono rari i casi in cui entro a gallerie di miniera non si avvertirono scosse, viceversa notevoli all'esterno.

Laddove però si abbia congiunzione fra due terreni di natura litologica diversa, il contrasto fra le differenti velocità relative di propagazione porta a maggiori rovine nel punto di contatto; ciò spiega perchè la parte bassa

di Messina sia stata maggiormente danneggiata nei terremoti del 1783 e del 1908, essendo edificata sopra un deposito alluvionale sovrastante a rocce cristalline. Condizioni analoghe si sono verificate per le località devastate dai diversi terremoti della Calabria e in quello della Liguria nel 1887.

Effetti meccanici dei terremoti (1). — Oltre alla rovina degli edifizi (fig. 79), sulla quale hanno grande influenza la loro posizione reciproca e quella rispetto alla direzione della scossa (fig. 80), la loro altezza sul suolo, la fondazione, il loro modo di costruzione ed i materiali in questa adoperati, gli effetti meccanici del terremoto possono essere molteplici, con scoscendimenti e frane talora enormi, proiezioni di gravi, apertura di voragini nel suolo, formazioni di fessure talvolta accompagnate da rigetto, che può provocare lungo la direzione della fessura la formazione di un gradino alto persino 20 metri sopra una lunghezza di 160 km., come nel terremoto del Giappone del 1981 (fig. 81).

Le fessure o si chiudono alla fine della scossa, inghiottendo rovine e vittime, oppure restano aperte, presentandosi rettilinee, curve, radiali, con disposizione irregolare di linea spezzata, ecc. Le loro dimensioni sono molto variabili e talora rilevanti; così furono parecchie le fessure notevoli apertesi nel terreno durante il terremoto siculo-calabro del 1783, fra cui una lunga di 2 chilometri, larga 10 metri e profonda 40, oltre ad una cinquantina di speciali cavità circolari (fig. 82), che si riempirono d'acqua e da cui irradiavano piccole fessure periferiche. Come casi eccezionali si possono ricordare le fessure di 110 chilometri nel 1848 e di 145 nel 1855 verificatesi in occasione di terremoti nello stretto di Cook (Nuova Zelanda).

Altri effetti si riferiscono al regime idrico, con scomparsa o comparsa di sorgenti, modificazioni nella natura dell'acqua, nella portata, temperatura, ecc.; nelle regioni di terreni alluvionali non è raro che si verifichino getti d'acqua più o meno potenti, che si sprigionano dal suolo, accompagnati anche da fango, sabbia e persino ghiaia. Queste uscite di acqua si possono spiegare ammettendo che falde sotterranee vengano compresse nel movimento sismico e che scappino fuori, trascinando materiali solidi, in punti ove il terreno presenta minor resistenza.

Presso i litorali si possono avere anche modificazioni del fondo marino

---

(1) In rapporto con gli effetti meccanici dei terremoti, il Mercalli ha stabilito una scala che può servire nella pratica ad indicare l'intensità delle scosse. Tale scala comprende sette termini, ed è la seguente:

1° *Scossa leggerissima*, avvertita soltanto dagli apparecchi sismografici o da alcune persone in quiete.

2° *Scossa leggera*, avvertita da parccehie o molte persone, però non universalmente.

3° *Scossa mediocre*, avvertita generalmente con tremito d'infissi, di cristalli e suono di qualche campanello.

4° *Scossa forte*, avvertita con suono generale di campanelli, oscillazioni delle lampade, arresto d'orologi.

5° *Scossa fortissima*, con caduta di calcinacci e di qualche fumaiuolo; lesioni nei fabbricati; suono delle campane da torre.

6° *Scossa rovinosa*, con caduta parziale o totale di qualche edifizio.

7° *Scossa disastrosa*, con rovina di molti edifizi e vittime umane.

con abbassamenti ed innalzamenti del suolo; così dopo il terremoto della Grecia nel 1886 si riscontrò un avvallamento di 400 m. tra Zante e Candia.

Fenomeni precursori e concomitanti delle scosse. — Specialmente nelle regioni di terremoti frequenti, questi sono accompagnati da rombi sotterranei di intensità e durata variabile, che precedono o seguono la scossa

Fig. 79. — Una via di Messina dopo il terremoto del 1908.

principale e furono paragonati giustamente a quelli prodotti da un treno ferroviario che percorra una galleria; altrove si ebbero detonazioni fortissime paragonabili a scariche di artiglierie (1).

(1) Ai fenomeni endogeni, collegandoli cioè ai movimenti sismici, sono generalmente attribuiti gli speciali rumori (*Brontidi, Mistpoeffers, Bramidos, Truenos subterraneos*, ecc.) che si fanno sentire, con intensità più o meno grande, in certe regioni situate per lo più in prossimità del mare e di regioni soggette a terremoti, così nelle Antille, nell'America Meridionale e, nell'Italia, in Calabria, Istria, Dalmazia, Toscana, ecc.

Per quanto la loro vera causa sia ancora avvolta nel mistero, si può ritenere che tali rumori derivino da repentine fratturazioni e spostamenti di masse rocciose nella crosta terrestre conseguenti a variazioni nelle tensioni interne e cioè a variazioni della pressione geostatica.

Fenomeni interessanti pure da ricordare sono le emissioni di vapori, la comparsa di fiamme e di bagliori, il riscaldamento fin quasi all'ebullizione dell'acqua marina presso le spiagge, l'intorbidamento delle acque dei pozzi e delle sorgenti, perturbazioni elettriche e magnetiche, ecc.

Fra i fenomeni precursori si usa citare una certa agitazione che si manifesta negli animali domestici, forse dovuta ad una sensibilità maggiore

Fig. 80. — Casa in parte risparmiata dal terremoto del 1908 a Messina.

che loro permette di percepire piccole scosse premonitorie non avvertite dall'uomo; il riscaldamento del suolo, perturbazioni atmosferiche con vento, pioggia, ecc.; variazioni nella pressione barometrica; manifestarsi di un'afa particolare, ecc.

Qualcuno di questi fenomeni è però messo in dubbio dai sismologi, come anche sembrano doversi escludere del tutto certe pretese dipendenze tra i terremoti e alcuni fenomeni esterni, come la periodicità secolare, le relazioni con le macchie solari, le fasi della luna, le stagioni (con un massimo invernale), le diverse ore del giorno (terremoti più frequenti nelle ore mattutine), il necessario accompagnamento di meteore atmosferiche, ecc.

Maremoti. — I terremoti che avvengono in vicinanza del mare oppure che si manifestano sul fondo stesso dell'oceano (al quale proposito si deve osservare che molti terremoti hanno il loro punto di partenza in mare, spe-

cialmente laddove vi sono fosse oceaniche, che sarebbero regioni di straordinaria sismicità) producono un'onda di traslazione, che, senza innalzare sensibilmente il livello dell'acqua, può però far sentire alle navi scosse non indifferenti. Presso le coste il fenomeno si risolve nei cosidetti *maremoti*, che producono talora effetti meccanici enormi e la cui azione distruttrice vien sovente ad aggiungersi, aggravandola, a quella del terremoto.

Fig. 81. — Spaccatura di terremoto a Midori, Giappone (1891). Secondo B. Kotò.

Il maremoto consiste in un ritirarsi repentino delle acque ad una distanza variabile, che può essere anche di parecchi chilometri, ed al loro ritorno sotto forma di un'onda alta 10, 20 e fin 30 metri, che si precipita improvvisamente sulla costa, avanzandosi nell'interno delle terre a portarvi distruzione e rovina. Le onde del maremoto possono ripetersi parecchie volte ed il ritiro delle acque, che dura generalmente pochi minuti (da 5 a 35), può talora durare per alcune ore; fu verificato anzi un ritiro persino di un'intera giornata.

I maremoti sono molto frequenti sulle coste del Giappone, ove sono indicati con il nome di *tsunami;* nel 1896, ad esempio, un maremoto si estese a 700 miglia di coste causando la morte di 30.000 persone.

Possiamo ancora ricordare il maremoto che accompagnò il terremoto di

Messina nel 1908 che si estese pure a Catania, ove il porto fu per un certo tempo messo quasi a secco; quello di Pisco nel 1690, in cui il ritiro dell'acqua a 15 chilometri durò circa 3 ore, ritornando poscia con un'onda alta 30 metri; quello del Cile nel 1746, nel quale fu interamente distrutto il porto di Callao ed in cui, al ritorno dell'onda, alcune navi furono proiettate nell'interno delle terre alla distanza di 4 chilometri dalla costa ed all'altezza di 16 metri; quello della Focide nel 1870, che rovinò le coste su un'estensione di 60 chilometri; quello che nel 1737 fece 300.000 vittime nella valle del Gange e infine quello che alla foce del Brahmaputra, nel 1876, causò la morte di oltre 200.000 persone.

Fig. 82. — Cavità circolari apertesi pel terremoto del 1783 presso Rossano (Calabria).

Talora l'azione del maremoto si limita esclusivamente alla vicinanza delle coste, ma in altri casi si estende a grandi aree, l'onda propagandosi fino ad enormi distanze con una velocità che è generalmente uguale a quella dell'onda di marea, cioè circa 400 chilometri all'ora. Così nel 1868, in occasione del terremoto del Cile, l'onda di maremoto attraversò tutto l'Atlantico; quella che accompagnò il terremoto di Lisbona nel 1753 si propagò fin sulle coste americane ed il maremoto che accompagnò nel 1883 l'eruzione del Krakatoa, non soltanto fece 40.000 vittime nelle isole di Giava e Sumatra, ma si estese a tutto il Pacifico.

Apparecchi registratori dei terremoti. Sismogrammi. — Con il progredire della *Sismologia*, che è ora diventata una vera scienza, si sono andati perfezionando sempre più gli apparecchi ideati per la registrazione delle scosse di terremoto, sia *macrosismi* che *microsismi*, per cui possono essere segnalate le oscillazioni minime del suolo in una regione anche lontanissima della superficie terrestre.

Gli apparecchi, che sarebbe troppo lungo il voler qui descrivere, prendono il nome di *sismoscopi*, *sismometri*, *sismometrografi*, *tromometri*, *sismografi*, ecc.; essi registrano l'istante in cui si verifica la scossa, la durata, l'intensità, il

ripetersi, ecc. del movimento, con una tale delicatezza, che ogni Osservatorio ha notizia di tutti i grandi terremoti della superficie terrestre. La registrazione automatica dà luogo ai *sismogrammi*, che si dicono *telesismogrammi* se si riferiscono a terremoti molto lontani.

I sismografi moderni si riducono essenzialmente a pendoli, che sono o *orizzontali* (leggeri e pesanti) o *verticali*, la cui lunghezza raggiunge i 15 a 20 metri, con un peso di parecchie centinaia di chilogrammi.

I telesismogrammi registrati in una regione posta agli antipodi del punto ove avviene il terremoto hanno caratteri costanti e comprendono essenzialmente tre fasi:

1ª *Fase iniziale* (detta anche *fremito iniziale*), la quale si manifesta con oscillazioni brevi e rapide, che incominciano circa 20 minuti dopo avvenuta la scossa; le onde di questa prima fase, che sono registrate specialmente dai pendoli verticali, si ritiene siano trasmesse attraverso alla crosta terrestre, verticalmente, con una velocità di circa 3500 km. all'ora. Questo modo e questa velocità di trasmissione hanno notevole importanza per la conoscenza della costituzione dell'interno del globo, poichè permettono di arguire che la trasmissione stessa si fa in un mezzo la cui rigidità è superiore a quella dell'acciaio.

2ª *Fase principale*, la quale incomincia circa 13 minuti dopo la prima e si risolve in vibrazioni ampie con più lungo periodo.

3ª *Fase terminale*, che si protrae anche per un'ora e mezzo ed è rappresentata da oscillazioni grandi e lente.

Le oscillazioni della 2ª e 3ª fase sono registrate essenzialmente dai pendoli orizzontali e si ritiene che siano trasmesse alla superficie del suolo con una velocità di circa 1000 km. all'ora.

Causa dei terremoti. — A seconda dei fenomeni dai quali si possono ritenere prodotti, i terremoti sono essenzialmente riferiti a tre tipi, cioè:

Terremoti locali, chiamati dall'Issel *episismi;* questi sono generalmente poco intensi e si fanno risentire sopra un'area ristretta. Sono dovuti allo sprofondamento di cavità sotterranee, formatesi per azione dell'acqua sopra rocce facilmente erodibili, come salgemma, gesso, calcare, dolomia, ecc.; terremoti di questo tipo sono frequenti nella regione del Carso.

Terremoti vulcanici. — Questi per quanto alle volte molto forti hanno però ordinariamente un'area ristretta, limitata essenzialmente al cono di un vulcano od alla regione ad esso circostante. Corrispondono alla fase esplosiva dell'eruzione, di cui sono sovente fenomeno concomitante, ma possono pure essere fenomeno precursore dell'eruzione, quando non corrispondano ad eruzioni abortite, come sembra esser stato quello di Ischia nel 1883.

Terremoti tettonici. — Sono generalmente i più gravi e disastrosi e quelli che interessano aree maggiori; la loro origine, per quanto non ancora del tutto spiegata, può essere ricercata nei movimenti di assettamento e di corrugamento dei materiali terrestri con formazione, in corrispondenza specialmente dei terreni cristallini a rigidità maggiore, di fessure (che diventano gli epiassi delle scosse) limitanti porzioni della litosfera, capaci di subire movimenti di spostamento sulla pirosfera.

L'origine dei terremoti tettonici ha quindi, come vedremo, un certo nesso con i fenomeni vulcanici propriamente detti, benchè non vi sia sempre un collegamento necessario fra eruzioni e terremoti; così nel 1835, mentre il terremoto del Cile portava la distruzione in molti centri abitati i parecchi

vulcani della regione erano perfettamente tranquilli, mentre all'incontro la forte eruzione di Vulcano, nelle Eolie, nel 1888 non fu accompagnata da alcuna scossa di terremoto.

In seguito a considerazioni orogeniche e statistiche il Montessus de Ballore ammette alla superficie terrestre due zone essenziali di intenso seismo; l'una, corrispondente all'Oceano Pacifico, comprende la regione delle Ande con il Giappone e la Malesia; l'altra, che chiama regione mediterranea, sarebbe limitata dalle Alpi, dal Caucaso e dall'Imalaia. Di tutte le scosse di terremoto che avvengono annualmente, il 54 % si manifesta nella regione mediterranea ed il 42 % in quella del Pacifico.

L'Italia ha per la frequenza dei movimenti sismici un triste primato, specialmente nelle provincie della Calabria e della Sicilia; il Suess, le cui conclusioni sono in massima generalmente ammesse, spiega il fatto con la esistenza di una grande frattura in forma di arco, compresa fra Cosenza e Palermo, lungo la quale frattura la crosta terrestre tende ad accasciarsi in forma di un imbuto avente come centro la zona del Tirreno corrispondente alle isole Eolie o Lipari. Diverse fratture radiali si avrebbero convergenti appunto verso le Lipari, una delle quali passante per lo stretto di Messina.

b) Bradisismi.

Ai terremoti che sono, come si è detto, movimenti repentini della crosta terrestre, fanno contrapposto altri movimenti lentissimi che, con nome proposto dall'Issel, si usano chiamare ***bradisismi.***

Spostamenti delle linee di spiaggia. — Che in ogni tempo le masse terrestri siano andate soggette a sollevamenti se ne osservano ovunque prove molteplici, fra cui il trovare formazioni di origine marina portate ora a notevole altezza. Ma di questi fenomeni orogenici molto antichi e a cui si deve l'odierna conformazione della superficie terrestre non ci occuperemo ora, limitandoci a considerare i movimenti attuali o di passato poco remoto.

Questi movimenti devono avvenire in qualunque punto della crosta terrestre, ma sono resi specialmente evidenti sopra i litorali, ove si ha nel livello del mare un buon punto di riferimento per la misura dell'intensità del fenomeno, che si risolve nello spostamento delle linee di spiaggia. Si ha cioè apparente invasione delle terre per parte del mare, oppure il fenomeno inverso, vale a dire l'apparente sollevamento delle terre; diciamo *apparente*, perchè è tuttora aperta ed insoluta la questione se tali movimenti siano dovuti ad oscillazioni del mare o dei continenti, oppure anche ad una combinazione dei due fenomeni.

Bradisismi positivi e negativi; loro prove. — A seconda della direzione del movimento i *bradisismi* si dicono *positivi,* quando avvengono dall'alto in basso, avendosi cioè sollevamento delle acque ed abbassamento delle terre; *negativi,* nel caso contrario di movimento dal basso in alto, quando

è la terra che s'innalza con conseguente ritiro del mare. Ad indicare il fenomeno il Suess usa, con medesimo significato, le espressioni di *spostamenti positivi* e *spostamenti negativi;* il De Lapparent invece si valse dei termini di *sommersione* ed *emersione,* che hanno il vantaggio di non pregiudicare la questione.

Fra le molteplici prove di bradisismi positivi possiamo ricordare:

1° L'esistenza di bassi fondi in cui si scorgono rovine di antichi edifizi o detriti di vegetali appartenenti ad antiche foreste, come lungo il Mar Baltico, sulle coste francesi della Normandia e della Bretagna, ecc.

2° La presenza di scogli e di dirupi o di isole litoranee, che in altri tempi facevano parte della terra ferma ed il cui isolamento non si può attri-

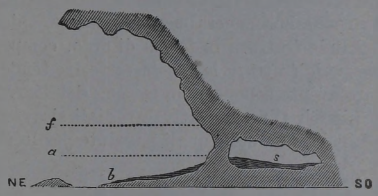

Fig. 87. — Sezione verticale della Grotta di Bergeggi in Liguria (Issel).

f, Fori di litofagi. - *a*, Altitudine alla quale giungono le onde. - *b*, Breccia ossifera. *s*, Cunicolo in cui erano sepolti parecchi scheletri umani.

buire all'azione erosiva del mare; oppure l'invasione per opera dell'acqua di grotte situate presso il litorale, nelle quali esistono tracce che indicano aver esse dato nel passato rifugio all'uomo o agli animali, fatto che fu, ad esempio, verificato nella grotta di Bergeggi in Liguria (fig. 83).

3° Le depressioni esistenti sul fondo del mare in continuità del punto di sbocco di certi fiumi, la cui valle (che dovette in altri tempi esser emersa) sembra prolungarsi sul fondo marino, come si verifica, ad esempio, per molti fiumi della Liguria, quali Polcevera, Taggia, Arma, Roia, ecc.

4° Gli scandagli che rivelano l'esistenza di formazioni madreporiche intorno alle coste o negli atolli fino a profondità rilevanti, mentre, come fu detto a suo tempo, gli organismi costruttori non vivono oltre i 30 metri.

Come prove di bradisismi negativi possiamo accennare:

1° L'interrimento di porti, seni, baie, ecc., quando si possa escludere che il fenomeno sia dovuto a depositi alluvionali.

2° La presenza di cordoni litoranei o di altre formazioni di origine marina come conglomerati, depositi di conchiglie, ecc., esistenti ad una certa distanza delle coste attuali. A questo proposito possiamo ricordare quanto fu detto parlando dei *Kjoekkenmoeddings.*

3° L'esistenza di terrazzi marini (fig. 84) posti ad una certa altezza sull'attuale livello del mare, come si osserva in Calabria, in Sicilia (fig. 85) e specialmente sulle coste del Cile e della Patagonia, ove tali terrazzi si incontrano ora a 200 e più metri sopra il livello dell'acqua.

4° L'incontrare, in punti ove più non arriva assolutamente l'acqua, scogliere e dirupi forati dai Litodomi o da altri simili Molluschi che si scavano un nicchio nella roccia al disotto del livello della bassa marea.

5° L'esistenza di scogliere madreporiche emerse per un'altezza notevole, come si osserva lungo tutto il litorale dell'Africa Orientale.

Esempi regionali di bradisismi. — Fra le regioni ove si osservano casi evidenti di bradisismi positivi o fenomeni di sommersione, vanno menzio-

Fig. 84. — Linea di spiaggia di Lochaber, sul declivio nord-ovest del Glen Roy in Iscozia (secondo una fotografia di C. Sander).

nate le coste dell'Olanda, quelle della Francia, sia dell'Atlantico che del Mediterraneo, il bacino del Pacifico, ecc.

Per i bradisismi negativi, con movimento cioè di emersione, sono caratteristiche le coste della Scozia, quelle settentrionali del Baltico (ove fin dal 1730 il fenomeno fu constatato dai naturalisti svedesi Linneo e Celsius) ed in generale le terre polari artiche; le coste della parte meridionale dell'America del Sud; quella del Messico, della Florida e delle isole della Sonda; molte regioni (così in Africa) poste in vicinanza dell'equatore, ecc.

Per l'Italia si hanno prove di sollevamento in tutta la parte meridionale, così, per il Tirreno, lungo le Calabrie e in Sicilia, e per l'Adriatico nelle Puglie e nei dintorni di Taranto. Abbassamenti invece avvengono nella regione di Venezia e delle coste circostanti ed in parecchi altri punti del litorale, così dell'Italia centrale che della Liguria.

In alcune regioni, per condizioni particolari locali, si hanno esempi del succedersi a brevi intervalli di bradisismi positivi e negativi.

Classico è a questo proposito il tempio di Giove Serapide presso Pozzuoli; l'edifizio costruito, evidentemente in terraferma, nel III secolo d. C. subì poscia un abbassamento che, secondo gli studi di Suess, durò fino al XVI secolo, per cui molti molluschi perforatori si stabilirono nelle colonne del tempio (di cui tre sono ancora intatte) (fig. 86) fino all'altezza di circa 4 metri. In seguito ad un'eruzione del Vesuvio si iniziò un movimento di emersione per cui le rovine furono messe a secco nel 1538; dopo d'allora vi fu un nuovo movimento di abbassamento ed attualmente il pavimento dell'edifizio torna ad essere sommerso.

Fig. 85. — Costiera a gradinata nel punto detto *Gozzo dei Martiri*, presso Melilli in Sicilia (Lyell).

Notiamo infine come in certi casi i bradisismi possono avvenire con una rapidità notevole; così il Claude Gay potè constatare a Valparaiso un sollevamento tale della costa, tra gli anni 1828 e 1855, che permise lo stabilirsi di due file di case, laddove prima arrivava l'acqua del mare.

Spiegazione dei bradisismi. — Il Penk a spiegare le emersioni sopra indicate nelle regioni nordiche ricorse ad un'ingegnosa ipotesi, ammettendo che fossero conseguenza della scomparsa dei grandi ghiacciai quaternari. I continenti privi così del loro primitivo potente manto di ghiaccio avrebbero esercitata un'attrazione minore sulle acque marine, donde un conseguente abbassamento di esse. Evidentemente però tale ipotesi non potrebbe avere che un valore locale e non sarebbe applicabile alle regioni prossime all'equatore, ove nondimeno abbiamo visto essere intensi i bradisismi (1).

Altri autori vedono un certo rapporto tra i bradisismi ed i fenomeni geotermici, che sono pure causa del vulcanismo e dei movimenti sismici, oppure ritengono che fenomeni di pressione sopra rocce plastiche in un luogo possano per reazione provocare sollevamento in regioni vicine, come

(1) Si è detto precedentemente della probabile esistenza nella crosta terrestre di una parte leggera (*Sial*) posta, quasi galleggiante, sopra una parte più densa, il *Sima*, che si comporterebbe come un corpo viscoso.

Ciò potrebbe spiegare, per la diminuita pressione della parte superiore sulla inferiore viscosa, i movimenti ascensionali dei paesi altra volta occupati dai ghiacciai; così dalla fine del periodo glaciale fino ad oggi la parte centrale della Scandinavia si è innalzata di circa 250 metri.

pure che per il più rapido raffreddamento dei materiali terrestri sopra i fondi oceanici, si avrebbe in essi contrazione e quindi abbassamento che, nuovamente per reazione, porterebbe le masse emerse a sollevarsi.

Fig. 86. — Colonne forate dai litodomi del tempio di Giove Serapide a Pozzuoli.

Concludendo si può asserire che il fenomeno dei movimenti lenti del suolo non ha ancora trovata la sua spiegazione assoluta, la quale, come per molti altri fenomeni geologici, deve variare da luogo a luogo. Sembra però che si possa affermare come nella crosta terrestre siano attualmente in prevalenza i fenomeni di emersione, cioè i bradisismi negativi.

CAPITOLO IX.

Vulcanismo.

Vulcano. Sue parti. Fasi dell'attività vulcanica. — Il vulcano può definirsi un apparato naturale, per mezzo del quale i materiali interni del globo vengono portati alla superficie mediante un canale, detto *camino,* in cui si innalza la materia in fusione.

Fig. 87. — Il Fushi Yama al Giappone.

Il camino, che è sempre posto lungo una linea di frattura o all'intersezione di due o più linee, è generalmente sormontato da una montagna in forma di cono tronco (fig. 87), il *cono vulcanico,* che termina all'apice con un'apertura in forma di imbuto, il *cratere.* Il cono, tranne pochi casi in cui si può ritenere dovuto a sollevamento, è originato dall'accumulo dei materiali eruttati, che possono esser rappresentati tanto da rocce compatte che da detriti incoerenti (fig. 88).

Le prime formano generalmente la base, oppure si insinuano tra i materiali mobili, incoerenti, costituendo *dicchi,* che rappresentano quasi lo scheletro del cono e che possono venire a sporger fuori a modo di muri (fig. 89), quando il materiale incoerente sia stato asportato dagli agenti meteorici. L'azione di questi, e specialmente delle acque selvagge, spiega poi la presenza dei solchi longitudinali più o meno profondi che sempre esistono sui fianchi del cratere.

Le montagne vulcaniche, le quali o si innalzano isolate (fig. 90) oppure si riuniscono in gruppi, possono avere dimensioni molto variabili.

Vi sono anzitutto crateri che si aprono a fior di terra e che devono esser originati da sprofondamenti del suolo, come i *Maare* dell'Eifel in Germania; nel maggior numero dei casi esiste il cono, che può raggiungere altezza notevole, così oltre 6000 m. il Kilimandjaro dell'Africa Orientale; 4000 metri il Mauna-Loa nelle isole Hawai; 3300 m. l'Etna; 3200 lo Stromboli (di cui 925 sopra il livello del mare); 1400 il Vesuvio, ecc. Anche le dimensioni del cratere variano di molto, passandosi da poche diecine di metri all'Etna ed a Stromboli, per arrivare a cifre rilevanti, come quella di 6500 metri nel vulcano Gunung-Tanger dell'isola di Giava.

Fig. 88. — Cratere grande nell'isola di Vulcano. — Strati tufacei corrispondenti ad eruzioni ripetute.

Non di rado sopra i fianchi del cono principale si osservano coni minori, detti *avventizi* o *parassiti*, dovuti allo squarciarsi dei fianchi nei periodi di parossismo ed allo stabilirsi sopra l'apertura così prodotta di un deposito del materiale eruttivo analogo a quello che diede il cono principale. Esempi bellissimi di crateri avventizi si hanno all'Etna nei Monti Rossi, presso Nicolosi e nei Monti Centenari, nella Valle del Bove.

Vi sono vulcani, come lo Stromboli, la cui attività dura continua da tempi immemorabili; altri, e sono *vulcani spenti*, non diedero più segni di attività nei tempi storici, come in Italia il Vulture, i Monti Cimini, ecc., i vulcani dell'Alvernia in Francia, il Kenya, il Kilimandjaro, l'Elgon nell'Africa equatoriale, ecc.

Nei *vulcani attivi* l'azione consiste in generale nell'alternarsi, ad intervalli non regolari e sovente molto lunghi, di fasi di parossismo con fasi di

riposo: così è dell'Etna e del Vesuvio, il quale ultimo dopo esser stato in riposo per tutti i tempi storici romani, ebbe nel 79 d. C. la grande eruzione che distrusse Ercolano e Pompei (fig. 91), costruendo l'attuale cono che continuò attivo fino ad oggi, mentre l'antico restò a formare il Monte Somma. Ricordiamo ancora l'Epomeo nell'isola di Ischia, che dal 45 a. C. si man-

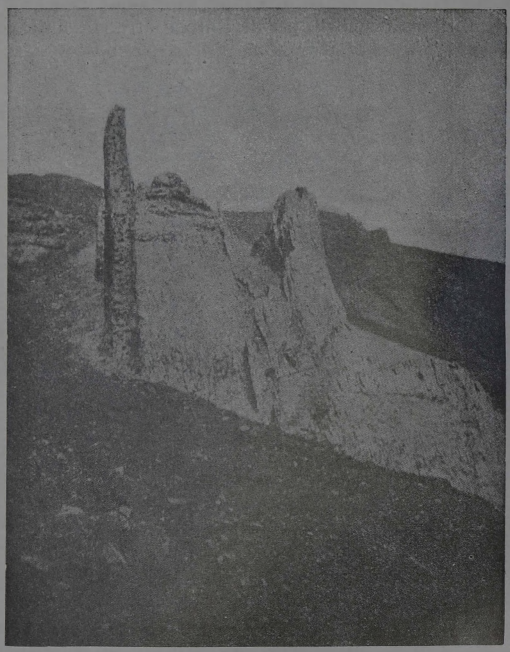

Fig. 89. — Dicchi di lava nella Valle del Bove (Etna).

tenne in riposo fino al 1302 ed il Popocatepelt nel Messico, che dal 1664 non ha più avuto eruzione di sorta.

In un periodo eruttivo si possono teoricamente distinguere tre fasi, cioè:

1° *Fase di esplosione*, caratterizzata dall'iniziarsi del parossismo con sprigionamento di gas e vapori, proiezione di materiali frammentari: cenere, lapilli, blocchi, ecc.;

2° *Fase di deiezione*, a cui corrisponde l'emissione della lava;

3° *Fase di emanazione*, che segna il decrescere ed il cessare dell'attività eruttiva, con emanazioni di vapori e gas che possono durare a lungo.

Fenomeni precursori. — Il ridestarsi dell'attività di un vulcano non è generalmente un fatto improvviso, ma esso viene come preannunziato anche di parecchie settimane da fenomeni precursori, quali terremoti, rumori sotterranei, aumento nelle emanazioni gassose o comparsa di esse, riscalda-

Fig. 90. — Il Mount Egmont nella Nuova Zelanda (da HOCHSTETTER).

mento del suolo e comparsa di efflorescenze alla superficie, modificazione nel regime idrico con prosciugamento e intorbidamento delle acque dei pozzi, scomparsa o comparsa di sorgenti, riscaldamento delle loro acque, ecc.

Fig. 91. — Forma probabile del Vesuvio prima dell'eruzione dell'anno 79.

Se il vulcano è coperto alla sommità da nevi persistenti, il riscaldamento del suolo può portare allo scioglimento repentino di esse e si hanno così improvvise alluvioni, le quali, dato l'abbondante materiale incoerente che ricopre i fianchi, si risolvono in veri torrenti di fango portanti distruzioni e rovine a grandi distanze. Per un tale fenomeno si ebbe nel 1877 alla base del Cotopaxi, nell'Ecuador, un'alluvione fangosa estesa ad un raggio di 10 km.: nel 1861 la parte meridionale dell'Islanda fu inondata da acqua

melmosa per una larghezza di 50 km. e nel 1822 un fenomeno analogo al vulcano Galoenggoeng, nell'isola di Giava, distrusse ogni vegetazione in un raggio di 20 chilometri.

Fase di esplosione. — La fase di esplosione, che corrisponde al ridestarsi dell'attività vulcanica dopo un periodo di riposo più o meno prolungato, fu anche detta dallo Stoppani *fase pliniana*, a ricordo della descrizione che ne diede Plinio il Giovane nell'eruzione vesuviana del 79 dopo Cristo.

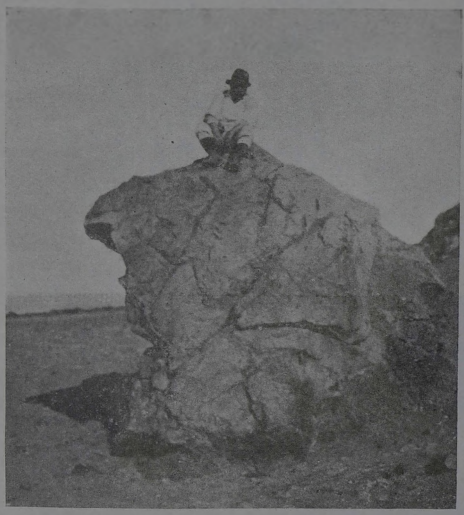

Fig. 92. — Masso proiettato dal cratere principale di Vulcano (Isole Eolie) durante le eruzioni del 1888.

L'eruzione è preceduta da uno sviluppo fortissimo di gas e vapori, che si accumulano nel camino vulcanico e che, esercitando pressioni enormi, dànno luogo ad esplosioni, accompagnate da rumori altissimi, che possono esser uditi a grandi distanze; così di 4000 km. nell'eruzione del Krakatoa del 1883, mentre undici focolari si aprivano nell'isola, rimasta in buona parte distrutta dall'eruzione, nella quale si calcola fossero stati proiettati detriti formanti una massa di 18 chilometri cubi.

Le esplosioni o si manifestano nel cratere principale, il quale viene allora smantellato o demolito, ciò che spiega come nei vulcani attivi la forma e l'altezza del cono vadano soggetti a continue modificazioni, oppure sopra i fianchi, nei quali si aprono allora squarci, destinati poi a costituire l'inizio dei crateri avventizi, di cui si è parlato sopra.

I materiali che ostruivano la libera uscita dei gas vengono spinti fuori con grande violenza, per cui si videro al Cotopaxi massi del peso di oltre 100 tonnellate proiettati a parecchie miglia di distanza ed al Vesuvio se ne osservarono frequentemente di fin 30 tonnellate (fig. 92).

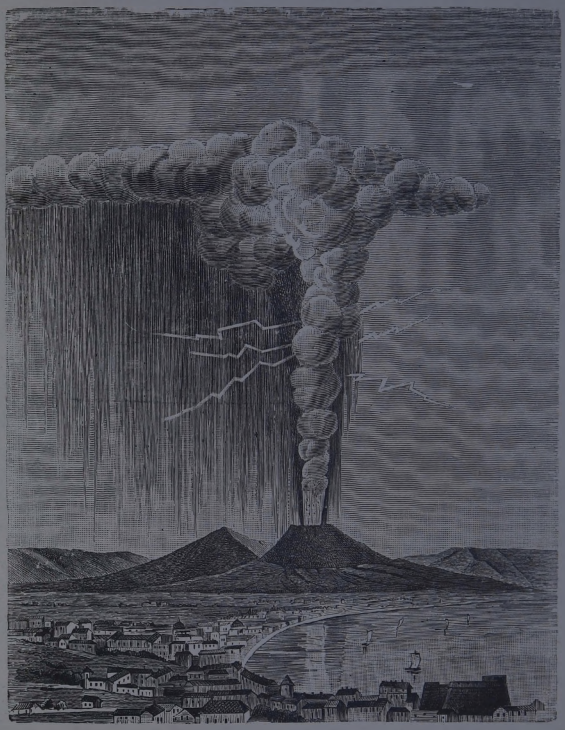

Fig. 93. — Pino vulcanico del Vesuvio nell'anno 1822 (da Poulett Scrope).

Intanto i gas e vapori si innalzano formando una colonna, che si può spingere a straordinaria altezza (così di 11.000 metri al Krakatoa nel 1883, 8000 a 10.000 al Cotopaxi nel 1877, 5000 all'Etna, 3000 al Vesuvio, ecc.), e che superiormente si allarga in forma di pennacchio o di parasole, donde il giusto paragone che ne fece Plinio con un pino marittimo (fig. 93).

Da questa colonna si sprigionano lampi e di notte essa sembra incandescente per il riflesso della lava, la quale intanto sale nel camino fino a riempire il cratere.

La colonna non è formata esclusivamente dai gas e vapori, ma comprende anche frammenti più o meno voluminosi, che costituiscono le *scorie* ed i *lapilli* (formati per lo più da frammenti di pomice, che, per la loro leggerezza, possono galleggiare sull'acqua del mare quando vi vengano a cadere), e specialmente la cosidetta *cenere vulcanica*, grigia o nerastra, costituita essenzialmente da finissimi detriti minerali o di pomice scoriacea, la quale può dal vento esser portata a grandi distanze. Così le ceneri del Vesuvio nella eruzione del 512 arrivarono fino a Costantinopoli; quelle

Fig. 94 — Colata di lava e accumulo di cenere alla base del cratere di Vulcanello (Isole Eolie).

dei vulcani della Islanda sono non di rado portate fino in Scandinavia e quelle dell'eruzione del Krakatoa restarono per parecchi mesi nelle regioni elevate dell'atmosfera, dando luogo a fenomeni crepuscolari. Anzi in questa grandiosa eruzione la quantità di materiale pulverolento eruttata fu tale che il cielo ne restò oscurato, avendosi notte profonda in pieno giorno; il mare per una grande distesa era ricoperto da detriti di pomice ed i bastimenti erano cosparsi di una polvere bianca finissima, per cui sembravano coperti di neve.

Queste pioggie di cenere calda e abbondantissima (destinate a costituire con il tempo i *tufi* vulcanici), possono recare danni non meno gravi delle colate di lava; così furono esse che distrussero Ercolano e Pompei, seppellendo queste città sotto uno strato di detriti potente quasi dieci metri. Di più nella fase di esplosione è sempre presente in grande copia il vapor d'acqua, il quale, condensandosi, dà luogo a forti precipitazioni; queste

trascinano le ceneri e producono, aiutate talora dallo scioglimento delle nevi e dell'acqua del lago, che poteva essersi stabilito nel cratere in riposo, veri torrenti di fango, la cui azione distruttrice può esser causa di grandi disastri.

Alla fase di esplosione va pure riferita la straordinaria emissione di vapori alla temperatura di circa 1000°, che si ebbe nel 1902 durante l'eruzione della Montagne Pelée alla Martinica. Questi vapori, accompagnati da cenere caldissima, che il Lacroix chiamò *nuées ardentes,* avanzandosi con la velocità di un chilometro al minuto, portarono la distruzione e la morte nella città di Saint-Pierre, ove si ebbero non meno di 30.000 vittime.

Fase di deiezione. Lave e loro costituzione. — Al periodo di esplosione segue ordinariamente l'emissione della *lava,* costituente la *fase di deiezione,* detta anche *stromboliana,* poichè allo Stromboli da tempo immemorabile nel cratere ribolle la lava, dalla quale avvengono ad intervalli variabili di $^1/_4$ a $^3/_4$ d'ora esplosioni, con violente proiezioni di frammenti di lava incandescente.

Lava si dice la materia allo stato di fusione ignea, che si innalza lungo il camino fino a riempire il cratere e traboccare all'esterno, oppure che viene emessa dai fianchi del cono per gli squarci, che vedemmo originare i crateri avventizi; nell'un caso come nell'altro si hanno le cosidette *colate* (fig. 94), poichè il materiale fuso scende colando lungo i fianchi del cono, colmando le depressioni, accumulandosi dietro gli ostacoli, superandoli e spingendoli a portare la sua opera devastatrice a distanza più o meno grande dal punto di emissione.

L'apertura di squarci nel fianco del cono si verifica specialmente nei vulcani molto elevati, così nei vulcani delle isole Hawai, all'Etna, ecc., dove, prendendo come peso medio specifico della lava 2,5, la pressione che deve sospingere la materia fluida nel camino può raggiungere anche mille e più atmosfere, bastando una colonna di lava di 4 metri per far equilibrio ad un'atmosfera. Si capisce quindi che sotto l'azione di così enormi pressioni possano cedere localmente le pareti della montagna; allora dall'apertura formatasi la lava esce dapprima con un getto più o meno potente, finchè la colonna ascendente nel camino non si sia abbassata sino al punto ove avvenne lo squarcio.

Non sempre però la lava dà origine a colate, poichè si verifica pure il fatto che essa riempia semplicemente la cavità del cratere, formando quasi laghi incandescenti, il cui livello subisce alternative di innalzamenti ed abbassamenti, con o senza ribollimento. Il fenomeno, per quanto raro, si osserva nei crateri di Kilauea e Halemauman alle isole Hawai (fig. 95).

Quando l'uscita della lava avviene per traboccamento dal cratere centrale (fatto che è comune nei vulcani poco elevati, come al Vesuvio) non è raro che, mentre sui margini la lava scende giù per i versanti, la parte mediana invece si ricopra di una crosta solida, su cui possono anche innalzarsi uno o parecchi piccoli coni, in seguito ad esplosioni provocate dalla massa fluida sottostante alla parte solidificata per raffreddamento.

Di giorno le colate non sono molto appariscenti, essendo mascherate dall'enorme sviluppo di vapore, ma di notte esse assumono un terrificante aspetto, quasi di un fiume di fuoco.

La parola *lava* non indica un tipo speciale di roccia, ma semplicemente un particolare stato di fusione ignea, avendosi quindi molteplici varietà quanto alla composizione mineralogica, alla struttura, ai caratteri fisici, ecc.

Fig. 95. — Lago di lava del Kilauea, Hawai (secondo Dutton).

All'atto dell'emissione la lava può essere tutta allo stato fluido, ed allora nel suo raffreddamento, specialmente se questo è repentino, essa forma una roccia del tutto od almeno in gran parte amorfa, come sono le colate di pomice scoriacea o di ossidiana vetrosa dell'isola di Lipari. Altre volte essa contiene già minerali cristallizzati (leucite, augite, feldspati), che si trovano poi inglobati nella massa, la quale è quindi caratterizzata dalla contemporanea presenza di sostanza amorfa (vetrosa o scoriacea) con minerali cristallizzati; lave di questo tipo si osservano al Vesuvio, all'Etna, alle isole Lipari ecc.

È però caso eccezionale che la lava sia perfettamente fluida, rappresentando essa piuttosto una pasta o magma più o meno vischioso, che

risulta dall'associazione di materie solide e liquide e che, per l'aspetto, fu giustamente paragonato al miele od alla calce semiliquida.

I minerali che s'incontrano più frequentemente nelle roccie originate dalla consolidazione della lava sono i *feldspati* (*ortosio* var. *sanidino, anortite, labradorite, andesina*), il *quarzo* (anche con la var. *tridimite*), l'*orneblenda*, l'*augite*, l'*olivina*, la *leucite*, la *biotite*, l'*haüyna*, la *nefelina*, la *magnetite*, l'*ilmenite*, l'*apatite*, lo *zircone*, ecc.

Dall'unione di questi minerali si hanno molteplici rocce (contenenti sovente una parte vetrosa associata a quella cristallizzata) e che possono essere *acide* o *basiche* a seconda della quantità di silice risultante dalla loro composizione chimica complessiva. Nelle rocce acide la silice può oltrepassare il 75%, mentre nelle basiche si aggira su 40-50%; le rocce vulcaniche acide si dicono anche genericamente *trachitiche* e vi appartengono la *trachite*, la *liparite*, la *fonolite*, ecc. con varietà vetrose (*ossidiana*) e scoriacee (*pomice*); sono invece basiche le rocce dette *basaltiche*, comprendenti essenzialmente i *basalti*, con un tipo vetroso nella *tachilite*. Quasi intermedie fra le acide e le basiche sono le rocce contenenti leucite (*leucitofiro, leucitite, leucotefrite*, ecc.) o haüyna e nefelina (*nefelinite, nefelinofiro, haüynofiro*, ecc.).

Ora la stessa distinzione di *acide* e *basiche*, secondo la percentuale della silice, si deve evidentemente fare per le lave, che si indicano pure con i nomi di *trachitiche* e *basaltiche*.

Le acide hanno peso specifico minore, tinta chiara e non hanno percentuale elevata di ferro, mentre le basiche sono molto pesanti, con tinta generalmente nera o scura e contengono una grande quantità di ferro, specialmente in forma di magnetite (F_3O_4), talora anche ferro nativo, donde le loro frequenti proprietà magnetiche.

Le lave acide sono meno fusibili e quindi meno fluide delle basiche, per cui si nota nelle colate acide una regolarità molto minore che nelle basiche, le quali possono anche spingersi molto più lontano dal loro punto di emissione.

Tutte le lave, di qualunque tipo, contengono poi sempre quantità enormi di vapor acqueo insieme ad abbondantissimi altri vapori e gas che, come vedremo, costituiscono poi le *fumarole* (fig. 96).

Raffreddamento della lava. — Nel suo raffreddamento la lava non tarda a ricoprirsi di una parte solida alla superficie, sui margini ed alla fronte; specialmente se il raffreddamento fu molto rapido non si ha in quella prima parte solida formazione di minerali distinti, i quali si osservano invece nelle zone più profonde, ove il raffreddamento è lento e dove, anche per la pressione, la massa prende vero aspetto di roccia compatta, granulare, potendo però contenere ancora parti vetrose.

La superficie prima solidificata non si mantiene regolare, ma viene rotta, fessurata, spostata, conturbata variamente dallo sforzo della parte fluida sottostante che continua nella progressione, come anche dall'abbondante sviluppo dei vapori e gas. Ne consegue il caratteristico aspetto

scoriaceo, ruvido, disuguale, accidentato con creste, rilievi, avallamenti, porosità, ecc., che si osserva sulle colate di lava, ove stanno pure frequenti cavernosità, generalmente allungate nella direzione della corrente che le trascina verso il piano, mentre è ovunque un caotico accavallarsi di blocchi e frammenti in cui si divide la crosta primitiva (fig. 94).

Le lave fluide, specialmente basiche, scendono talora ravvolgendosi su loro stesse in pieghe circolari, che ricordano molto bene matasse di corda

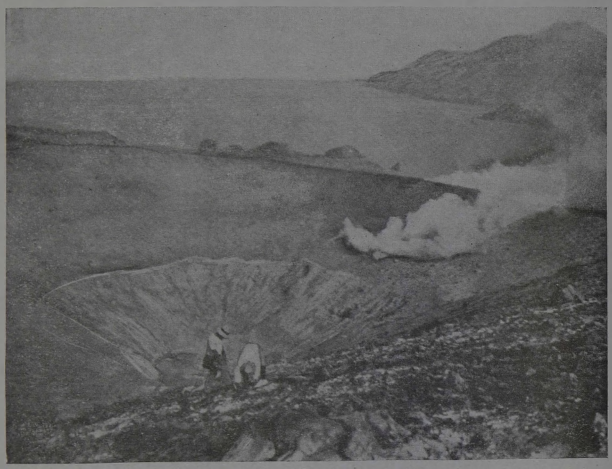

Fig. 96. — Fumarole nel cratere di Vulcano (Isole Eolie).

(fig. 97). Questo tipo fu appunto detto di *lava cordata* ed è molto comune all'Etna; per indicarlo fu anche proposto il nome di *lava pahoehoe,* con nome derivato dai vulcani delle isole Hawai.

Talvolta, in seguito ad esplosioni, porzioni di lava vengono proiettate anche a grande altezza e ne possono risultare le cosidette *bombe vulcaniche,* le quali nel loro movimento di rotazione mentre sono per aria assumono una forma sferoidale o affusata caratteristica (fig. 98), più di rado piriforme. Queste bombe vulcaniche, di cui si hanno bellissimi esempi a Stromboli e Vulcano (fig. 92) possono avere dimensioni molto variabili, da quella di una noce fino a masse di 10 metri cubi; cadendo poi sul suolo sovente si schiacciano riducendosi ad una curiosa forma di focaccia.

La crosta superficiale delle colate non tarda a diventare così salda da poter sopportare il peso di un uomo, anche quando la parte sottostante è ancora fluida ed in movimento; sui margini però della colata ed alla sua fronte si accumulano frammenti scoriacei staccati, che la corrente di lava

trascina nel suo cammino e spinge innanzi, ricordando bene il fenomeno morenico dei ghiacciai.

Alla fronte si ha poi una particolarità speciale nel fatto che la corrente spinge sul suolo i detriti scoriacei già solidificati e vi passa quindi sopra,

Fig. 97. — Lave cordate in una colata dell'Etna.

Fig. 98. — Bomba vulcanica.

mentre nuova scoria si va formando alla parte anteriore. Il progredire della corrente è sempre accompagnato da un rumore crepitante, metallico, prodotto dalle contrazioni, frantumazioni, urti, ecc. delle varie parti della massa in movimento.

Non di rado le lave contengono degli *inclusi,* cioè frammenti delle rocce

incontrate dal materiale fluido nel salire lungo il camino, strappati e portati fuori; al Monte Somma sono abbondanti gli inclusi di calcare cristallino e di calcare fossilifero più o meno metamorfosati con formazione di numerosi minerali di origine secondaria. Di tale origine sono pure le *anime di sasso* esistenti nelle antiche lave del Monte Amiata.

Altri inclusi si possono avere nella parte inferiore della colata e provenienti da frammenti staccati dal terreno su cui scorre la lava; in tale posizione furono persino riscontrati frammenti d'albero, come nei basalti di Kinghorn (Scozia).

Al contatto della lava, per azione dell'alta temperatura, le argille e le marne possono indurirsi od esser cotte e vetrificate, originandosi la cosidetta *porcellanite;* i calcari induriscono, assumono struttura cristallina e si può avere in essi formazione di minerali; molte rocce si metamorfizzano profondamente e nel contatto con carbone fossile si ha talora produzione di grafite.

Quando nella sua progressione la colata incontra un ostacolo qualsiasi, essa non vi viene a contatto diretto, ma si ferma generalmente ad una distanza di pochi centimetri, trattenuta dalla tensione dei vapori che si sprigionano dalla lava. Qualche volta può così arrestarsi, ma più comunemente la colata finisce per girare l'ostacolo o sorpassarlo.

Il colore della lava solidificata è prevalentemente il nero, trattandosi di lave emesse di recente, oppure superficialmente rossastro nelle lave alquanto antiche, e ciò per la sopraossidazione dei minerali ferriferi.

Temperatura delle lave. — La temperatura della lava è sempre molto elevata, sovente superiore a 1000°; così il Bartoli trovò all'Etna una media di 1000° subito dopo l'eruzione e di 800° a due chilometri di distanza dalla bocca di emissione e la stessa temperatura, talora anche superiore, si ritrova si può dire in ogni eruzione del vulcano. Sperimentando con filo di ferro si potè constatare che in certe lave non soltanto si ha arroventamento del metallo, ma addirittura fusione; nel 1794 le lave del Vesuvio, che invasero Torre del Greco, dovevano avere una temperatura superiore a 1200°, poichè si trovarono in parecchie case oggetti di rame e d'argento completamente fusi.

Il raffreddamento delle colate di lava (il cui spessore è molto variabile, da pochi centimetri a parecchi metri) può essere rapido; così vien riferito che una colata del Vesuvio, nell'eruzione del 1832, già si era perfettamente raffreddata dopo due mesi. È però caso eccezionale, perchè in generale il calore dell'interno della colata può essere conservato a lungo, essendo l'irradiazione impedita dalla crosta solida superficiale che si forma molto rapidamente.

Il calore delle parti interne suole quindi conservarsi a lungo ed è così che lo Spallanzani dopo undici mesi dall'eruzione potè abbruciare un pezzo di legno introducendolo in una fessura della crosta esterna, mentre Élie de Beaumont, nell'eruzione vesuviana del 1832, trovò che dopo 2 anni talune lave sviluppavano ancora un calore insopportabile e dopo 7 anni avevano

ancora una temperatura di 72° presso la superficie solidificata. Al Jorullo, nel Messico, Boussingault trovò, dopo 50 anni dall'eruzione, che le lave erano ancora sensibilmente calde.

Malgrado la loro altissima temperatura, appunto per il rapido raffreddamento superficiale e la irradiazione minima, le lave producono degli effetti calorifici di contatto relativamente piccoli ed è per questo che, appena formata la crosta superficiale, si può perfettamente camminare sopra una colata che a qualche metro di profondità ha ancora temperatura vicina a 1000°.

Arrivando una colata di lava in una foresta, se è vero che molti degli alberi si incendiano, avviene però anche che la lava non faccia se non che carbonizzare in parte gli alberi all'esterno, solidificandosi così rapidamente intorno al vegetale da modellarsi sul tronco, formando quasi un astuccio intorno ad esso. Fu anzi riferito di alcune piante che hanno continuato a vegetare pur essendo state investite dalla lava.

Si sono viste all'Etna lave scorrere sopra placche di neve e di ghiaccio semplicemente protette da un debole rivestimento di sabbia e cenere; medesimamente al Cotopaxi, nell'eruzione del 1877, essendo la sommità della montagna rivestita da un potente manto di neve sopra la quale al principio dell'eruzione si era accumulata sabbia e cenere, nella emissione susseguente della lava, la neve fu ricoperta dalle colate senza che ne avvenisse la fusione se non in piccola parte.

Velocità della lava. Dimensioni delle colate. — La velocità di progressione della colata della lava dipende essenzialmente dalla sua fluidità, dalla massa della colata e dalla pendenza del suolo su cui avviene la discesa. In generale tale velocità è rilevante, per quanto molto variabile da colata a colata (essendo massima per le lave basiche) e a seconda dei diversi punti di una stessa colata; come cifre estreme si possono ricordare la velocità di m. 200 al minuto per lave Mauna-Loa nel 1852, velocità quindi maggiore di quella dei grandi fiumi presso la loro foce; di circa 150 nel 1776 e di 120 nel 1855 al Vesuvio. In casi eccezionali si vide la lava raggiungere una velocità di 480 metri al minuto; possiamo pure ricordare che al Vesuvio nel 1805 una colata percorse oltre 5 km. in 4 minuti e che al Mauna-Loa in 2 ore una si spinse alla distanza di 23 chilometri.

Vi sono esempi invece di velocità minima; così di appena 1 metro $^1/_2$ all'ora durante l'eruzione vesuviana del 1822, con una colata che, secondo Dolomieu, non si sarebbe avanzata in 2 anni che di 3800 metri.

Anche le dimensioni delle colate possono variare moltissimo; così la colata che distrusse Torre del Greco nel 1794 raggiunse una lunghezza di 5700 metri, con una larghezza di 650 m. alla fronte ed una potenza di circa 13 metri; il volume ne dovette essere di 15 milioni di metri cubi. All'isola della Riunione si citano colate del volume complessivo di 68 a 86 milioni di metri cubi e di 300 a 500 milioni al Mauna-Loa; quivi nel 1855 una colata era lunga 50 km., larga 200 m., raggiungendo localmente una potenza di 100 metri; nel 1859 si ebbe una colata di 53 km.; un'altra di 50 nel 1880, ecc. Ricordiamo ancora che nelle eruzioni del 1669 e del 1831

le lave dell'Etna arrivarono fin entro la città di Catania, cioè a 30 km. dal punto dell'eruzione, e che la colata, la quale, uscita dai Monti Centenari, si spinse fin presso Zafferana Etnea, precipitando dalla valle del Bove in quella di Calanna con la cascata immane di fuoco che originò il *Salto della Cavalla*, aveva una larghezza di 2500 metri.

Fig. 99. — Colonnato basaltico di Rio Colorado (America Settentrionale).

Formazioni di caverne nelle lave. Lave colonnari. — In seguito alla solidificazione superficiale della colata, molto più rapida che nel rimanente della massa, può formarsi una specie di astuccio rigido in cui scorre la lava; ora al disotto della crosta rigida così formata possono, per la contrazione della massa ancora fusa, o per l'efflusso di questa, formarsi delle cavità vere grotte o gallerie, il che spiega perchè camminando sopra certe colate si sente il terreno a risuonare, quasi come si camminasse sopra una vôlta.

Di tale origine è la grotta di Angra nelle Azzorre, lunga parecchi chilometri, larga 10 metri e alta da 5 a 6, con una vôlta da cui pendono stalattiti di lava rappresa; pure alle Azzorre un'altra consimile grotta, la Graciosa, è lunga 200 metri, larga 100 ed alta fin 30 nel suo punto massimo. Di tipo identico è la grotta di Surtshellir in Islanda, lunga 1600 metri, larga 16-18 e alta circa 12, con numerose stalattiti laviche pendenti dalla vôlta.

Altre grotte rappresentano uno spazio primitivamente occupato da enormi bolle di gas imprigionate nella lava; questa sembra essere, ad esempio, l'origine della Grotta delle Capre all'Etna. Altre, infine, possono essere dovute ad esplosioni provocate nella colata dalla pressione di gas inclusi; in questo caso una porzione della massa fluida si solleva in forma

Fig. 100. — Colonne trachitiche verticali di Motu Roa nella Nuova Zelanda.

di cupola o di cono, mentre il fenomeno inverso può avvenire quando cioè la lava, dopo essersi rigonfiata sotto l'azione dei gas, con lo sfuggire di questi, ricade lasciando al posto una cavità o depressione più o meno ampia.

Certe lave, specialmente le basaltiche, quando si raffreddano rapidamente (il che può succedere quando la colata si riversi nel mare, in un lago o lungo il corso di un fiume) subiscono una contrazione nella loro massa e si dividono in prismi più o meno regolari, generalmente a 6 faccie, talora affatto perfetti (fig. 99); altre volte la divisione avviene più grossolanamente avendosi specie di cilindri, che simulano abbastanza bene canne da organo (fig. 100).

In queste colate la parte inferiore (che è quella venuta in contatto con l'acqua e che per conseguenza assume più propriamente la struttura colonnare prismatica) è sempre molto fessurata e dà quindi maggiore presa ai fenomeni erosivi. Si può così per azione dell'acqua aver un altro modo

di formazione di caverne, come quella detta « delle Palombe » presso Acireale (Catania), scavata nei basalti colonnari dell'Etna (fig. 101).

Esempi di *lave prismatiche* e *colonnari* si hanno in Italia nel Vicentino, all'Etna (isole dei Ciclopi, dintorni di Acireale e di Aci Castello), nel Lazio; nella Francia in Alvernia, ove le si osservano lungo parecchi fiumi; alle isole Ebridi, ove è nota la grotta di Fingal (fig. 102) ecc.

Fig. 101. — La Grotta delle Palombe presso Acireale.

Le colonne prismatiche si dispongono anche radialmente o in posizione pennata (fig. 103); possono poi essere molto voluminose, con una lunghezza fin di 30 a 50 metri ed un diametro che da pochi centimetri raggiunge fino 3 metri. In altri casi le contrazioni durante il raffreddamento portano, come in certi punti dell'Etna, alla divisione della lava in masse tondeggianti, ma è fenomeno più raro.

Fase di emanazione. — Sopra le colate della lava e sopra il cono vulcanico si manifestano attraverso al terreno con intensità variabile e con prodotti di natura pure variabile, delle *emanazioni gassose* indicate con il nome di *fumarole* (fig. 104).

Esse però non si producono soltanto durante il parossismo eruttivo, ma possono durare anche per lungo tempo dopo cessata l'emissione della lava, costituendo, nell'attività di un vulcano, quella che si dice *fase di emanazione,* caratteristica all'isola di Vulcano nel gruppo delle Eolie.

A seconda della loro composizione le emanazioni vulcaniche furono da Sainte-Claire-Deville suddivise in *fumarole secche, acide, alcaline* e *fredde,* notando che sopra una stessa colata di lava possono manifestarsi simultaneamente le diverse fumarole a partire dalla bocca d'emissione della lava verso la parte terminale della colata, oppure dalla parte centrale di questa verso la periferia, in relazione quindi con la temperatura decre-

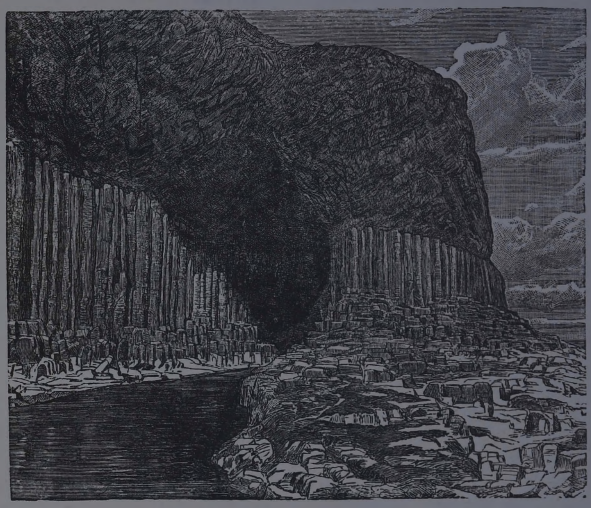

Fig. 102. — Grotta basaltica di Fingal, nell'isola di Staffa.

scente del materiale eruttato. Il Sainte-Claire-Deville constatò pure che la natura chimica delle emanazioni è subordinata alla temperatura, di modo che la fumarola secca deve in progresso di tempo trasformarsi, per graduale diminuzione di temperatura, successivamente nelle altre. Questi concetti del Sainte-Claire-Deville furono generalmente accettati e la sua classificazione delle fumarole in rapporto al tempo ed allo spazio è ora generalmente adottata.

Le *fumarole secche* hanno temperatura molto elevata, superiore a quella della fusione dello zinco, cioè 500° ed anche più; si sviluppano esclusivamente dalle colate di lava in fusione, in prossimità del cratere e verso il centro della colata. Si presentano in forma di fumi bianchi, pressochè senza odore, assolutamente anidri e che arrossano la carta di tornasole; in quanto alla costituzione chimica risultano formate quasi esclusivamente da cloruri anidri di potassio, di manganese, di ferro, di rame, di piombo e specialmente di sodio, che in certe fumarole del Vesuvio raggiunse fino il 94,30%.

Contengono pure tracce di solfato di ferro, di potassio e di magnesio; lo Scacchi di Napoli vi determinò pure la presenza del fluoro.

Le *fumarole acide* sono costituite da anidride solforosa con insieme a solfo libero e talora acido cloridrico con enorme quantità di vapor d'acqua.

Esse si producono sui lembi della colata di lava ed a maggior distanza dal cratere che non le fumarole secche e la loro temperatura oscilla fra 100°

Fig. 103. — Colonne basaltiche a disposizione pennata della rupe di Humboldt presso Aussig sull'Elba in Boemia.

e 300°-400°. Hanno odore soffocante, dovuto specialmente all'anidride solforosa che è assolutamente predominante.

Le *fumarole alcaline*, dette anche *fumarole ammoniacali*, sono caratterizzate dalla presenza del cloruro di ammonio, il quale, decomponendosi nella volatizzazione, può dare luogo a formazione di ammoniaca libera. La temperatura vi è di poco superiore a 100°; contengono gran quantità di vapor d'acqua accompagnato da anidride solforosa e da idrogeno solforato, che dànno luogo, per decomposizione, a depositi di solfo.

Le *fumarole fredde* sono costituite quasi esclusivamente da vapor d'acqua con idrogeno solforato e quantità variabili di anidride carbonica.

La loro temperatura va gradualmente decrescendo fin ad essere anche non superiore a quella del luogo.

La fase di emanazioni termina appunto con quelle di anidride carbonica, che costituiscono al Vesuvio le *moffette*, a proposito delle quali va ricordata la cosidetta *grotta del cane* ad Agnano presso Pozzuoli. In questa si accumula fino a circa mezzo metro d'altezza l'anidride carbonica, per cui mentre un uomo vi può penetrare impunemente, un cane che vi entri risente fenomeni di asfissia, fatto che gli abitanti del luogo sfruttano per eccitare la curiosità dei visitatori.

Fig. 104. — Fumarole sull'orlo del cratere di Vulcano (Isole Eolie).

Fenomeno analogo si verifica all'isola di Giava nella *valle della morte*, antico cratere ripieno di anidride carbonica, per cui non vi possono vivere animali, mentre vi prosperano i vegetali, e nei *fori a vento* della Persia, che sono piccole fessure esistenti in antiche colate di lava, da cui si sprigionano con violenza grandi quantità di anidride carbonica.

Lo sviluppo dell'anidride carbonica può anche avvenire ad una certa distanza dal distretto vulcanico, spingendosi il gas attraverso alle fessure delle rocce; un tal fatto spiega l'emanazione dell'anidride in quantità così grande nelle miniere di galena argentifera di Pontgibaud, nel Puy-de-Dôme in Francia, da impedire talora la lavorazione.

Nelle fumarole si può pure constatare la presenza di idrogeno o di carburi di idrogeno e persino di petrolio; questi gas combustibili, che spiegano con la loro accensione la presenza di fiamme nelle eruzioni vulcaniche, si possono osservare in tutti i vulcani; furono studiati al Vesuvio, all'Etna, nei vulcani delle Antille, ecc.

Tutte le fumarole contengono poi anche una certa proporzione d'aria atmosferica, riconoscibile alla libera presenza di ossigeno e di azoto; nelle fumarole secche questi due gas hanno pressochè le proporzioni che si riscontrano nell'aria normale, ma in quelle degli altri tipi l'azoto è sempre in eccesso sopra l'ossigeno.

Eruzioni sottomarine. — Il camino vulcanico non sempre si apre alla superficie del suolo, poichè in frequenti casi si ha invece tale apertura sul fondo del mare con conseguenti *eruzioni sottomarine*, i materiali delle quali possono accumularsi fino a sporgere fuori dell'acqua, originando speciali isole. Su queste poi l'eruzione, diventata subaerea, può costruire un cono anche di grande altezza; così è, ad esempio, dello Stromboli.

Fra le eruzioni sottomarine ricorderemo quella dell'arcipelago Santorino nel Mar Egeo: il gruppo di Santorino comprende una grande isola semicircolare detta *Thera*, la quale, con l'isola minore di Therasia e lo scoglio di Aspronisi, chiude circolarmente una porzione di mare; nel mezzo di questo bacino si formarono in tempi antichi tre isole chiamate rispettivamente Palea-Kameni, Micra-Kameni e Nea-Kameni. Ora nel 1866 si verificò in fondo al mare una violenta eruzione e sorse un isolotto saldatosi poi con Nea-Kameni, che intanto eruttava torrenti di lava; continuando il parossismo vulcanico emerse un nuovo isolotto, che nuovamente si saldò a Nea-Kameni, la quale, dopo 4 anni, quando cessò l'attività vulcanica, aveva quasi raddoppiata la sua superficie (fig. 105).

Data l'incoerenza dei materiali eruttati, tali isole vulcaniche possono, in seguito al cessare dell'attività endogena, scomparire, essendo demolite dall'azione meccanica del mare. Tipico è a questo proposito il caso dell'isola Giulia o Ferdinandea.

Nell'anno 1831 i pescatori videro, ad una quarantina di chilometri dalla costa, comparire un'isola tra la Sicilia e Pantelleria, isola che dai varii visitatori ricevette alternativamente i nomi di Giulia, Ferdinandea e Graham. Notiamo che non soltanto ci furono discrepanze sul nome da lasciare all'isola, ma sorsero contestazioni circa il suo possesso tra l'Inghilterra ed il Regno delle Due Sicilie; dopo alcuni mesi però fu resa inutile ogni discussione dallo scomparire dell'isola, che minacciava di diventare un pomo di discordia.

Il fenomeno vulcanico fu annunziato il 28 giugno di quell'anno da alcune scosse di terremoto; verso il 10 luglio si vide per lo spazio di 10 minuti innalzarsi dal mare una colonna di acqua e vapori, che raggiunse l'altezza di 25 metri. Alcuni giorni dopo il fenomeno tornò a ripetersi, ma con maggiore intensità, e la colonna di vapori si innalzò a circa 1500 metri.

Il 18 luglio si potè vedere emergere dalle onde un isolotto alto circa 4 metri, avente nella parte mediana un piccolo cratere da cui venivano eruttati vapori e ceneri, accompagnati da una colonna di fumo alta circa 600 metri; all'intorno poi il mare era tutto cosparso di scorie e di pesci morti. Il 23 luglio, continuando ad intensificarsi il fenomeno, l'isola raggiunse un diametro di 250 metri con una altezza di circa 20, mentre prima dell'iniziarsi del fenomeno vulcanico il fondo del mare nel sito ove era sôrta l'isola non si toccava che a 200 metri.

Proseguendo l'eruzione si potè misurare, in principio d'agosto, una circonferenza di 4800 metri; ma poi, cessato il parossismo vulcanico, l'isola andò man mano sfasciandosi sotto l'azione delle onde, per cui alla fine di settembre la circonferenza era ridotta a 700 metri, con un'altezza ancora di circa 30 metri.

Data però la costituzione dell'isola, formata da materiali incoerenti e scoriacei, la distruzione si continuò rapidamente ed alla fine di dicembre non restava più alcuna traccia esterna di essa.

Nel mese di luglio 1863 si rinnovò l'attività vulcanica e l'isola tornò ad emer-

gere, raggiungendo in poche settimane l'altezza di circa 80 metri; ma poi, battuta dai marosi, non tardò nuovamente a scomparire.

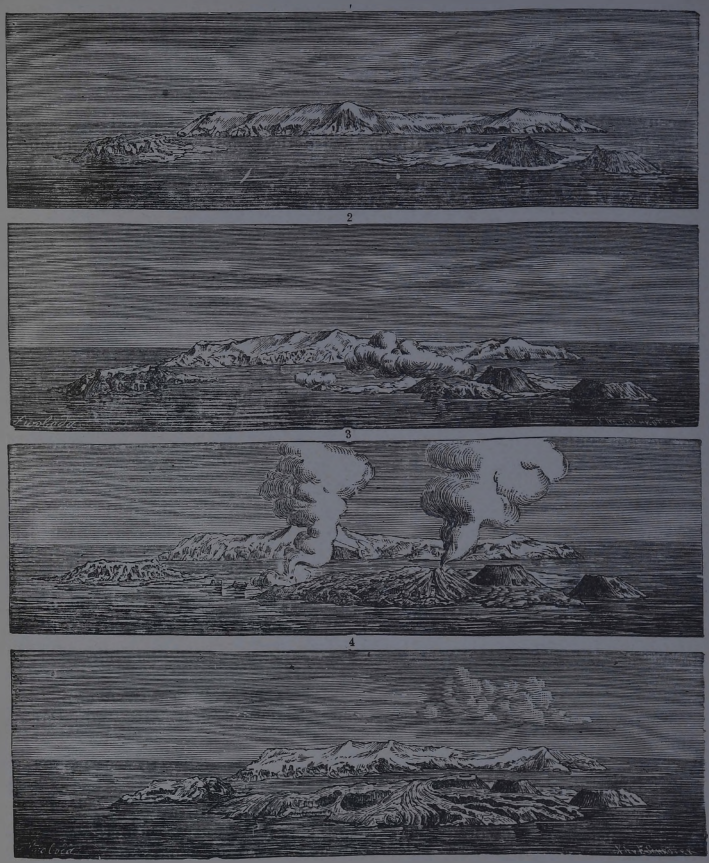

Fig. 105. — Le Isole Kaméni:
1) Prima dell'eruzione; 2 e 3) Durante l'eruzione; 4) Dopo l'eruzione del 1866.
Nel fondo è visibile l'isola Therasia (dal Fouqué).

Distribuzione geografica dei vulcani. — Per quanto gli autori non siano d'accordo nel computo dei vulcani attivi, si può ritenere con Fuchs che siano circa 300 quelli che ebbero eruzioni nei tre ultimi secoli; tuttavia

volendo dare una classificazione completa si devono aggiungere a questi non meno di 500 vulcani spenti.

I vulcani sorgono isolati o si riuniscono in gruppi, specialmente con disposizione lineare, sotto tutte le latitudini ed è un fatto degno di nota che, tranne pochi casi di vulcani continentali, la maggior parte di essi sorge sopra isole o nelle immediate vicinanze del mare.

Regione di intenso vulcanismo è il bacino del Mediterraneo con il Vesuvio, l'Etna, lo Stromboli, le isole Eolie, Ustica, Pantelleria, ecc.: l'arcipelago di Santorino e altri crateri delle isole greche, continuandosi la serie nei vulcani del Caucaso, della Persia e dell'Armenia, ove il Monte Ararat (5200 metri) diede prova di attività nel 1840.

Vulcani attivi oltre gli italiani non esistono nell'Europa continentale, ma si possono ricordare i gruppi di vulcani spenti dell'Alvernia in Francia, dell'Eifel in Germania, dell'Ungheria, della Scozia ed in Italia della regione del Lazio (Vulsini, Cimini, ecc.), dei Campi Flegrei, del Vulture, dell'Amiata, del Vicentino (Monti Berici), del Padovano (Colli Euganei), ecc.

La regione dell'Oceano Atlantico comprende nella sua parte assiale una serie di vulcani attivi, che partendo dall'isola di Jan Mayen si continua nell'Islanda, nelle Azzorre, Canarie e isole del Capo Verde; in seguito con i vulcani spenti dell'Ascensione, di Sant'Elena e di Tristan da Cunha.

L'Islanda, che ha una superficie di 100.000 kmq., è tutta costituita da materiali vulcanici e conta non meno di 20 vulcani principali, fra cui l'Hecla, alto 1550 metri, il Katla, il Laki, il Vatna, il Myvatn, ecc.

L'Africa comprende alcuni vulcani in riposo sulle coste occidentali ed orientali e vanno specialmente ricordati i giganteschi della regione orientale, in rapporto con le grandi linee di frattura che hanno costituiti i *rift*, e cioè il Kilimandjaro (m. 6010), il Kenya (m. 5852), l'Elgon, oltre ad altri moltissimi nella regione del Great Rift Valley (fra cui Logonot, perfetto di forma) ed il gruppo, in parte attivo, dei Monti Mfumbiro.

Nell'Asia furono scoperti crateri spenti, forse da poco, nel Tibet, all'altitudine di 5000 metri; altri esistono nella Manciuria, ove qualcuno è ancora nella fase delle emanazioni.

L'Oceano Indiano non presenta centri vulcanici notevoli, per quanto siano da ricordare i crateri spenti delle isole Kerguelen, di Saint-Paul, della Riunione e di Madagascar.

La regione tipica del vulcanismo è però la fossa del Pacifico, la quale è, si può dire, cinta da una fascia di vulcani attivi, alcuni potentissimi; infatti, partendo dal sud, si incomincia con i vulcani antartici Erebus e Terror, poscia si continua lungo tutta la costa occidentale dell'America del Sud con i vulcani della Terra del Fuoco, del Cile, della Bolivia e del Perù, avendosi nel solo Cile, sopra una linea di 450 km., non meno di 33 vulcani. Nella repubblica dell'Ecuador, sopra un'altra linea di 180 km., si incontrano 16 vulcani, fra cui il Cotopaxi che arriva quasi a 6000 metri ed il Sangay alto 5300 m.; nell'America Centrale, oltre che nel gruppo delle Antille, l'attività vulcanica è intensa nel Messico con oltre 30 vulcani attivi, dei quali alcuni imponenti, come il Tolima (5600 m.), l'Orizaba

(5600 m.), il Puracè (4800 m.), il Conseguine, il Jorullo, il Popocatepelt, ecc.

A partire dal Messico la serie americana continua, ma però molto attenuata, per quanto vulcani attivi esistano nella California, nella Colombia Britannica e nell'Alaska.

A nord la cintura del Pacifico prosegue con la serie delle Aleutine che, sopra una linea di 310 km., comprende ben 48 vulcani, poi passa ad est con la linea, arcuata e vólta verso il mare, delle Curili, seguitando per il Giappone (che conta oltre un centinaio di vulcani spenti e non meno di 35 attivi, fra cui il Fushi-Yama, 3750 m.), Formosa, le Filippine, le isole della Sonda, le Salomon, le Nuove Ebridi, le Samoa, le Tonga-Tabou, essendo la cintura chiusa dai vulcani della Nuova Zelanda.

In questa serie le isole della Sonda segnano il massimo dell'attività vulcanica con non meno di 200 vulcani, di cui 50 attivi; l'isola di Giava da sola comprende 120 vulcani, di cui 14 passano i 3000 metri d'altezza; Sumatra ha 60 vulcani, di cui 8 attivi.

Nell'interno del circolo del Pacifico non vanno dimenticate le isole Hawai, della superficie di 20.000 kmq. e formate interamente di materiali eruttivi; fra i molti vulcani attivi ricordiamo il Hualalai (2520 m.), il Mauna-Loa (4160 m.) e il Mauna-Kea (4200 m.).

Ipotesi sull'origine del vulcanismo. — Uno stesso vulcano può eruttare o lave a tipo acido (trachitiche) o a tipo basico (basaltiche), ma in generale si osserva che le lave delle eruzioni più antiche sono acide, mentre quelle delle recenti sono basiche; così è, ad esempio, al Vesuvio e alle isole Lipari. Non di rado però si constata il ritorno al tipo acido dopo emissioni basiche, oppure si verifica l'emissione di lave ad acidità intermedia fra le tipiche trachiti ed i basalti.

Il fenomeno può esser dovuto al fatto che nell'interno del globo i due tipi corrispondono a differenti zone secondo la profondità, zone che non sarebbero assolutamente distinte, ma che passerebbero gradualmente dall'una all'altra, essendo però le regioni più elevate fortemente acide ed essenzialmente basiche le profonde. Il vulcano dovrebbe quindi metter fuori prima il materiale acido ed in seguito quello basico; oppure, essendo alimentato da diversi focolari posti a diverse profondità, si potrebbe aver alternanza nell'attività degli uni e degli altri o la riunione dei prodotti dei differenti livelli, risultandone lave ad acidità più o meno forte a seconda del prevalere dell'uno o dell'altro tipo.

Ora qual'è l'origine della lava ed in generale dei fenomeni vulcanici?

Vi fu chi ritenendo la parte interna del globo ancora fluida ammise che la crosta terrestre, nei suoi fenomeni di contrazione dovuti al raffreddamento, verrebbe a premere sopra la massa fusa, la quale sarebbe così spremuta, quasi schizzata fuori. Altri invece ritennero che tale compressione non avvenga sopra tutta una massa fluida, ma soltanto sopra zone ristrette ove i materiali si sarebbero mantenuti allo stato di fusione.

Altri vogliono che la sede del vulcanismo stia nelle rocce sedimentarie

costituenti sopra le rocce cristalline primitive un manto di spessore variabile, ma in certi punti della crosta terrestre indubbiamente di una potenza enorme; gli strati più profondi di queste rocce sedimentarie riscaldandosi fortemente per il calore proveniente da un nucleo igneo centrale, finirebbero per passare allo stato di fusione, essendo il fenomeno agevolato dalla grande quantità di acqua che tali rocce contengono, e tenderebbero ad espandersi uscendo per le fessure della litosfera.

Altri invece, senza ricorrere all'ipotesi di un calore centrale, ammettono che raffreddandosi il nucleo più profondo della Terra e quindi contraendosi, la parte solida superficiale debba necessariamente abbassarsi. In questo abbassamento le rocce sarebbero frantumate e triturate; nel lavoro meccanico si svilupperebbe tanto calore da fondere le rocce, vaporizzandosi contemporaneamente l'acqua in esse contenuta. Si originerebbe così la lava ed una quantità di vapore che, nella sua espansione, provocherebbe l'ascesa del materiale fluido lungo le fessure della Terra.

Altri, basandosi sul fatto che essenzialmente i vulcani si trovano in vicinanza del mare, ritengono che la penetrazione dell'acqua attraverso alla crosta terrestre possa farsi fino alla massa fluida interna, od almeno fino ad un punto ove si hanno rocce ad alta temperatura, semplicemente solide per l'alta pressione. Al loro contatto l'acqua ritornerebbe allo stato di vapore, o, meglio, si dissocierebbe, ed i gas sfuggendo attraverso alle fessure della crosta terrestre trascinerebbero con sè le rocce tornate allo stato fluido per la diminuita pressione.

Sembra più probabile doversi ammettere che le masse interne del globo, dotate di altissima temperatura, siano impregnate e forse sature di gas che dovettero essere assorbiti quando la Terra era allo stato di fusione ignea, e che di più a quella profondità vi siano rocce solidificate, in causa della pressione, ad una temperatura alla quale sarebbero normalmente ancora allo stato di fusione. Ora se in conseguenza di una frattura venga ad esser diminuita la pressione cui sono soggetti i materiali che si trovano in queste speciali condizioni, essi devono tornare allo stato fluido e salire lungo le fessure; contemporaneamente si mettono in libertà i gas dapprima inclusi e la loro forza di espansione è tale da trascinare la roccia fluida non solo fino alla superficie terrestre, ma fino a raggiungere la sommità dei vulcani i più elevati. L'abbondantissimo vapor acqueo che accompagna le emissioni di lava e la cui presenza può spiegare le esplosioni con cui si iniziano le eruzioni vulcaniche, proverrebbe dal ritornare allo stato di vapore delle acque di infiltrazione del suolo, come pure dalle filtrazioni che continuamente avvengono in fondo al mare. Infatti nelle grandi profondità marine si è visto a suo tempo come si arrivi a delle pressioni di 7, 8 e 900 atmosfere, alle quali tutte le rocce (e persino lastre di metallo) diventano permeabili.

Laccoliti. — Con il nome di *laccolite*, proposto nel 1878 dal geologo americano G. K. Gilbert, si indica un curioso apparato eruttivo che si può considerare come il risultato di una eruzione vulcanica abortita, il materiale fluido non essendo riuscito ad uscire all'esterno. Si tratta infatti di masse di rocce eruttive

che in forma di grosse lenti o di campane si interpongono entro a terreni sedimentari, i quali ne vengono sollevati, originandosi così alla superficie del suolo un rilievo o intumescenza, la cui forma si modella all'incirca sul profilo della massa eruttiva sottostante, la quale può poi essere messa allo scoperto in seguito ai fenomeni di erosione e di degradazione meteorica.

Secondo la spiegazione (ora generalmente ammessa) che diede del fenomeno il GILBERT, il quale primo lo osservò e lo descrisse, si ritiene che la massa fluida si sia innalzata lungo una fessura della crosta terrestre funzionante da camino, come in un vulcano propriamente detto; però non riuscendo ad attraversare gli ultimi strati sedimentari sovrastanti e non interessati dalla frattura, si sarebbe insinuata fra gli strati sollevandoli e provocando appunto alla superficie del suolo un rilievo in forma di cupola, dapprima regolare, ma che potè in seguito esser modificato dalle circostanze e specialmente dalla vicinanza di altre laccoliti di intrusione più recente.

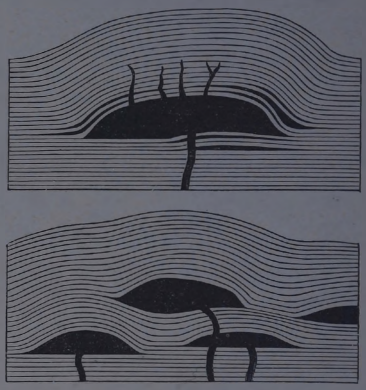

Fig. 106. — Sezioni schematiche di laccoliti (GILBERT).

Dalla laccolite partono (fig. 106) delle apofisi, alcune iniettate lungo i piani di stratificazione delle rocce sedimentarie fino a distanza più o meno grande dal centro eruttivo, altre invece insinuate negli strati sovrapposti alla laccolite e che nel sollevamento poterono variamente fessurarsi.

Le laccoliti furono dapprima osservate nella parte occidentale degli Stati Uniti e più particolarmente nell'Utah, nella regione del Colorado già nota per i *cañons*.

Quivi sorgono le Montagne Henry (*Henry Mountains*) comprendenti essenzialmente cinque monti distinti, che si innalzano sopra una regione pianeggiante e dove non vi ha alcuna traccia di vulcanismo nè antico nè recente. Ogni monte rappresenta una laccolite, oppure laccoliti riunite in gruppo, talvolta due, ma più comunemente un numero maggiore arrivando fino a 30.

Le laccoliti delle *Henry Mountains* hanno forma circolare od ovale con diametro oscillante fra 800 e 6000 metri; l'altezza del rilievo è all'incirca $^1/_7$ del diametro, e non eccede mai $^1/_3$. La roccia è sempre rappresentata da trachite, non mai bollosa e scoriacea, il che dimostra che certamente non fu eruttata all'esterno.

Fra gli *Henry Mountanis* va ricordato il monte Ellsworth (fig. 107), domo ovale che presenta un grande asse di 6400 metri ed un piccolo di 4800, con un'altezza di circa 1500 metri; il rilievo è formato da strati di arenaria, pianeggianti alla sommità, con una pendenza che raggiunge ed oltrepassa 45° sui versanti, mentre alla base le stratificazioni tornano ad essere orizzontali. Non si scorge il nucleo eruttivo centrale (non essendo ancora la degradazione meteorica pervenuta fino ad esso), ma sono frequenti i piccoli dicchi di trachite insinuati nell'arenaria e sporgenti all'esterno per la loro resistenza maggiore; essi devono però dipartirsi appunto dal nucleo, rappresentando apofisi staccantisi da esso.

Al monte Hiller invece, alto 2000 metri con una base di 6400 metri nel diametro maggiore e 5200 nel minore, l'erosione ha portato via completamente la

parte sedimentaria sovrastante alla laccolite e la sommità della massa trachitica affiora all'esterno, mentre verso la base si osserva una cintura continua di strati arenacei raddrizzati intorno al nucleo eruttivo.

Formazioni laccolitiche furono pure riscontrate in altri punti della regione del Colorado e delle Montagne Rocciose; in altre parti del mondo furono osservate laccoliti nell'Inghilterra, nel Caucaso Settentrionale, ecc.

Fig. 107. — Veduta di una laccolite, Mount Ellsworth (da GILBERT).
Il Monte è composto di trachite, e nel fondo a sinistra si vedono le testate degli strati sedimentari raddrizzati.

In qualche località, come al monte Marcellina nella valle del Colorado, si è determinata l'esistenza di cosidette *laccoliti asimmetriche*, nelle quali la parte esterna non ha la forma regolare di domo o cupola, ma costituisce invece un rilievo limitato sopra un lato da un brusco dislivello o salto, mentre l'altro versante presenta pendenza molto meno accentuata. Si ritiene in questo caso che la massa fluida non ha assunta la forma lenticolare o a campana, ma quella invece di una semilente, intercalandosi soltanto negli strati da una parte del camino, il che spiegherebbe la forma del rilievo esterno.

CAPITOLO X.

Fenomeni endogeni secondari.

A terminare l'esposizione della Endodinamica non resta a parlare che di alcuni fenomeni, indicati comunemente con il nome di *fenomeni secondari del vulcanismo*. Tuttavia poichè di essi qualcuno non è sempre in rap-

porto con il vulcanismo propriamente detto, è forse più conveniente di riferirli semplicemente all'attività endogena del Globo, di cui sono indubbiamene il prodotto.

Geysers. — Sono i *geysers* speciali sorgenti termali con acque ricche di silice e che presentano un notevole fenomeno di intermittenza.

La temperatura delle acque geyseriane è molto elevata raggiungendo normalmente 70°-75°, ma potendo anche essere maggiore, cioè fin ad oltrepassare il punto di ebullizione; l'acqua poi viene emessa all'esterno con un getto che sovente raggiunge notevole altezza.

Le località tipiche per il fenomeno dei *geysers* sono essenzialmente l'Islanda, la Nuova Zelanda e gli Stati Uniti.

L'Islanda è la regione ove dapprima furono conosciute e studiate tali sorgenti ed il nome di *geysers* è quello usato appunto per indicarle nell'isola; quivi si dicono *geysers* le sorgenti calde accompagnate da un getto intermittente, mentre si chiamano *hverir* quelle semplicemente ribollenti, e *langar*, quelle ove l'acqua non raggiunge mai la temperatura di ebullizione.

Fra i *geysers* dell'Islanda bisogna ricordare lo *Strokkr* apertosi nel 1789 e chiusosi nel 1896 dopo un terremoto; il condotto vi era profondo circa 14 metri e sboccava all'esterno in forma di un imbuto del diametro superiore a 2 metri. L'acqua vi era continuamente in ebullizione ed al fondo del canale si aveva una temperatura di 114°; ogni due o tre giorni avveniva l'eruzione, che durava circa un quarto d'ora, con proiezione insieme all'acqua di numerose pietre.

In prossimità del vulcano Hecla esiste il *Gran Geyser* o *Geysir*, fornito di un cono di silice alto 8-10 metri, con un diametro di 70 metri alla base e la cui sommità è occupata da un bacino largo 20 metri; in fondo al cono sbocca il canale del diametro di 3 metri. Ad intervalli irregolari, ma generalmente di 24 a 30 ore, avviene l'eruzione ed una colonna d'acqua potente 3 metri è proiettata fino all'altezza di 30-50 metri, per la durata di circa 10 minuti.

L'acqua alla superficie del condotto ha temperatura di 76°-89°, ma alla profondità di 22 metri raggiunge fin 127°; il *Gran Geyser* è però attualmente in una forte fase di decadenza.

Nella Nuova Zelanda i fenomeni geyseriani sono forse ancora più intensi che in Islanda; sopra una linea di frattura della lunghezza di 225 chilometri, che si estende dal vulcano Tongariro a quello di Whakari, le sorgenti termali silicee sono numerosissime, contandosene ben 76 nella sola valle di Waikato, oltre ad abbondanti solfatare e vulcani di fango. Tutto il distretto geyseriano neo-zelandese fu però sconvolto nel 1886 da eruzioni vulcaniche.

Caratteristico per i *geysers* è negli Stati Uniti la regione delle Montagne Rocciose conosciuta con il nome di *Parco Nazionale di Yellowstone*; quivi, sopra un'area rettangolare di circa 80×100 km., esistono parecchie migliaia di sorgenti calde e fangose, fra cui non meno di 84 *geysers* in piena attività. Menzione speciale merita il *Gigante*, il quale una volta al giorno,

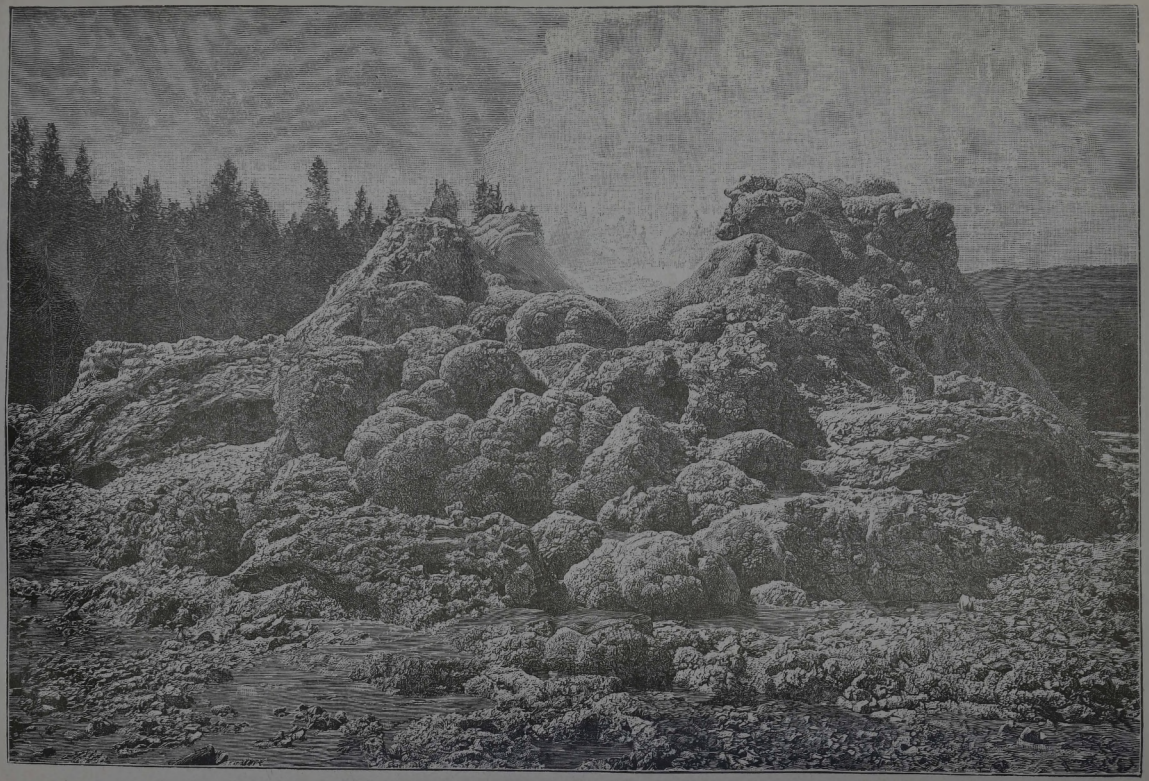

Fig. 108. — Cratere del *Castle-Geyser* nel parco di Yellowstone.

ma talvolta anche più frequentemente, lancia un getto potente 2 metri fino all'altezza di 60 metri; l'eruzione dura da 15 a 37 minuti.

Notevole per la sua regolarità è l'*Old Faithful*, le cui eruzioni si succedono ad intervalli di 65 minuti con un getto che sorpassa i 40 metri; altri *geysers* della regione sono il *Beehive*, che ha un cono siliceo di piccole dimensioni ma assai regolare, dal quale avviene ogni giorno un getto che si spinge a circa 50 metri; il *Castle-Geyser* (fig. 108), ecc.

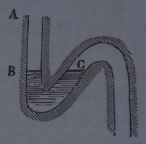

Fig. 109. Interpretazione della intermittenza geyseriana.

Molti dei *geysers* del Parco Nazionale contengono nelle loro acque non soltanto silice, ma anche notevole quantità di carbonato di calcio (formante nella località depositi enormi di travertino) e di idrogeno solforato, che può spiegare la presenza di solfo nel deposito minerale circostante ai *geysers*. L'analisi dell'acqua indica pure presenza di soda, di allumina e di alquanta magnesia.

Da riferire al fenomeno geyseriano sono le cosidette *caldeiras* delle Azzorre, ove nell'isola di San Miguel una superficie di circa un ettaro, nella valle Furnas, è crivellata di orifizi, da cui escono acqua e gas, talora in forma di getti intermittenti.

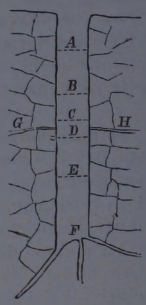

Fig. 110. — Altra interpretazione della intermittenza geyseriana.

L'intermittenza dei *geysers* era anticamente spiegata ammettendo che le acque fossero contenute entro a fessure del suolo costituenti una specie di sifone (fig. 109). L'acqua giungendo in questo sifone ne occupava la parte inferiore in modo da chiudere la comunicazione fra la parte A in rapporto con l'esterno e la parte C interna; supponendo che in questa ultima si accumulassero vapori caldi, ad un determinato momento la tensione di questi poteva vincere la resistenza opposta dalla colonna d'acqua e spinger questa al di fuori. In seguito il *geyser* doveva rimanere in riposo, finchè le acque ed i vapori non si fossero successivamente radunati nel condotto A B C.

Questa spiegazione è ora abbandonata e sostituita da un'altra desunta dalle osservazioni di Tyndall al *Gran Geyser* d'Islanda; quivi risulta che la temperatura dell'acqua in tutto il condotto è inferiore al punto di ebullizione sotto la pressione corrispondente a quella che l'acqua stessa sopporta. Tuttavia verso il livello D (fig. 110) alla profondità di circa 13 metri, la differenza fra la temperatura dell'acqua e quella di ebullizione non è più che di 2°. Se quindi si suppone che dalle aperture situate in F escano vapori che sollevino alquanto gli strati sovrapposti della colonna d'acqua e li portino 2 metri più in alto, cioè in C, ove è minore la pressione, la colonna di acqua viene istantaneamente convertita in vapore ed avviene la proiezione; la temperatura più elevata in D si spiega supponendo che vi affluiscano vapori per le aperture G e H.

Il Bunsen riprodusse sperimentalmente il fenomeno ponendo sotto un

bacino d'acqua un tubo verticale lungo 2 metri e scaldato contemporaneamente alla base ed a 0,60 cm. dal fondo per mezzo di un focolare anulare. Con un apparecchio così disposto si ottiene ad ogni 5 minuti un getto di acqua fuori del bacino.

Riguardo alla silice contenuta nei *geysers* il Damour ritiene che essa non provenga da silice libera sciolta nell'acqua, ma piuttosto da silicati alcalini che si decomporrebbero nell'atto dell'efflusso per azione di vapori solforosi o cloridrici svolgentisi contemporaneamente. Il fatto che l'acqua calda può contenere disciolta anche notevole quantità di silice libera non rende necessaria una tale ipotesi, poichè la media della silice esistente nei *geysers* non è superiore a quella che l'acqua può contenere disciolta ad alta temperatura.

Intorno alla bocca dei *geysers* la silice contenuta nell'acqua si deposita e ne risulta varietà concrezionata, riferita all'opale, conosciuta in Mineralogia con il nome di *geyserite*, che forma oltre ad incrostazioni talora potentissime, dei veri coni attraverso ai quali avviene la proiezione del getto intermittente. Il deposito della silice può alle volte chiudere il condotto della sorgente, ma il fenomeno geyseriano non tarda a ripetersi nelle vicinanze.

Soffioni boraciferi. — Si dicono *soffioni* getti speciali di vapor acqueo contenente acido borico e borato sodico, oltre a quantità variabili di idrogeno solforato, anidride carbonica, metano ed altri idrocarburi, ammoniaca, idrogeno, ossigeno, azoto, argon, elion, ecc. Vi furono determinate inoltre proprietà radioattive, che però variano da soffione a soffione.

La regione dei soffioni, situata nella Maremma toscana, si estende per circa 40 kmq. tra l'alta valle di Cecina e quella della Cornia; le località principali del fenomeno sono Monte Rotondo, Lago, Sasso, Castelnuovo, Larderello, Serrazzano, Lustignano, ecc.

I vapori boraciferi (che contengono l'acido borico nelle proporzioni di 1,16 a 23,8%) scaturiscono da terreni di età variabile e condensandosi all'intorno del getto originano i cosidetti *lagoni;* le rocce con cui vengono a contatto sono profondamente alterate e, fra l'altro, si ha trasformazione del calcare in gesso per azione dell'idrogeno solforato.

Dai soffioni e lagoni viene ricavato l'acido borico; si capisce quindi che ai soffioni naturali l'industria ne abbia ora aggiunto degli artificiali mediante trivellazioni. Quando la sonda raggiunge la profondità voluta (70 m. a Larderello, 150 a Monte Rotondo) si ha un improvviso getto d'acqua con fango e pietre, che può arrivare a 20 m. di altezza.

Alcuni soffioni durano attivi da tempo indefinito, altri invece diminuiscono e si esauriscono lentamente, mentre altri ancora cessano istantaneamente salvo a ricomparire a qualche distanza dal luogo primitivo; si può da questo fatto arguire che l'azione sotterranea è continua, ma che circostanze locali ed accidentali arrestano la libera uscita dei vapori.

La comparsa di un soffione è preceduta da fenomeni caratteristici; si odono rumori sotterranei, il terreno si riscalda e si fessura, mentre scom-

pare la vegetazione e si formano efflorescenze. A questo punto basta un urto, il passaggio di un carro o di un uomo per provocare la formazione del soffione, quando questa non sia al tutto spontanea.

L'origine dei soffioni è ancora nel campo delle ipotesi, ma si può, come quella dei *geysers*, ritenere collegata con il vulcanismo secondario, tanto più che l'acido borico esiste nelle emanazioni vulcaniche.

Ricorderemo però che a spiegare le formazioni boracifere furono proposte altre ipotesi, fra cui quella della decomposizione in profondità di

Fig. 111. — Maccaluba presso Caltanissetta.

azoturo di boro in presenza d'acqua; nella reazione si avrebbe acido borico ed ammoniaca. Altri invece ritenne che l'acido borico potesse provenire dalla decomposizione di certi serpentini della località, nei quali il Bechi riconobbe la presenza di anidride borica, oppure di minerali borosilicati, come la tormalina, contenuti in graniti esistenti in profondità; altri ancora dalla decomposizione di borati di origine sedimentaria, ecc.

È però da osservare che in ogni caso si avrebbe sempre un effetto troppo grandioso in confronto della causa ammessa e che bisognerebbe nelle diverse reazioni chimiche supposte far intervenire dell'acqua soprariscaldata, la cui origine andrebbe spiegata. Senza tacere che nell'ipotesi di decomposizione di serpentini contenenti anidride borica può benissimo essere l'inverso del fatto ammesso dal Bechi e che cioè il serpentino contenga boro, perchè in vicinanza dei soffioni.

Qua e là nella Maremma si associano ai soffioni delle emanazioni di idrogeno solforato e di anidride solforosa chiamate localmente *putizze*.

Salse o vulcani di fango. — Si indicano con questi nomi sorgenti a temperatura più o meno elevata, ricche di gas: idrogeno solforato, anidride carbonica, azoto e specialmente carburi di idrogeno, fra cui sovente petrolio; l'acqua di tali sorgenti contiene si può dir sempre anche cloruro di sodio, donde il nome di *salse*.

Le *salse* si manifestano generalmente in regioni argillose e marnose, per cui l'acqua ed i vapori, nella loro uscita, trascinano del fango, il quale, depositandosi all'esterno, costituisce un piccolo cono (*vulcano di fango*), che ricorda in piccolo il cono dei vulcani, con i quali del resto le *salse* hanno anche di comune le alternative di attività e di riposo.

In Italia si incontrano *salse* in parecchi punti dell'Appennino, specialmente emiliano. Da riferire alle *salse* sono pure i *Barboi* di Traversetolo presso Parma, le *Maccalube* (fig. 111) delle vicinanze di Caltanissetta e le *Salinelle* della regione etnea; fra queste ultime è notevole quella di Paternò, la cui attività è strettamente collegata con quella del vicino Etna.

Fuori d'Italia esistono *vulcani di fango* nel Caucaso e nella regione del Mar Caspio (penisola Apcheron), anche rinomata per le sorgenti di petrolio; quivi i coni raggiungono l'altezza di 150 e fin 400 metri. Altri s'incontrano nella Nuova Granata, alla Trinità, a Giava, ecc.

Nella Pensilvania è da ricordare una *salsa*, il *Kane Geyser*, che presenta fenomeno di intermittenza proiettando ad intervalli regolari, da un condotto profondo 600 metri, una colonna d'acqua calda ricca di carburi di idrogeno, che si innalza fino a 30-50 metri.

Fontane ardenti. — Costituiscono una manifestazione di origine endogena strettamente collegata con le *salse;* infatti nell'Appennino settentrionale si dicono *fontane ardenti* speciali emanazioni di gas combustibili, che si sprigionano dal suolo e, arrivando a contatto dell'aria, si accendono spontaneamente dando luogo ad un fenomeno talora continuo, ma che per lo più si manifesta ad intermittenza.

Fontane ardenti esistono a Pietra Mala, Barigozza ed alla Porretta, presso le rinomate sorgenti di acque alcaline e salate.

Petrolio. — Il *petrolio* è una mescolanza di idrocarburi vari, che si presenta generalmente in forma di liquido più o meno denso di color giallo cupo o bruno fino al nero; certe varietà sono fluorescenti.

Dopo esser stato sottoposto a distillazione per spogliarlo degli idrocarburi più infiammabili (*eteri del petrolio*), viene usato come sostanza illuminante; da esso si ricava pure benzina, paraffina, ecc.

Circa l'origine del petrolio non sembra potersi dare una spiegazione unica; infatti vi sono casi in cui esso è indubbiamente di origine endogena, collegata al vulcanismo, poichè sovente le eruzioni vulcaniche sono accompagnate da emissione di petrolio. Così si verificò già al Vesuvio, nell'arcipelago di Santorino, ecc. ed abbiamo detto come sia, si può dire, costante la sua presenza nei prodotti delle *salse*.

In altre località, specialmente quando lo s'incontra in regioni di carboni fossili, si può ritenere che provenga dalla distillazione naturale in condizioni speciali di avanzi organici, e più particolarmente animali. Infine è indubitato che il petrolio può originarsi dalla decomposizione ad alta temperatura di carburi metallici in presenza d'acqua nelle profondità del globo; questa anzi dovrebbe essere la origine più comune.

Località importanti per le sorgenti di petrolio si hanno nell'America Settentrionale al Canadà, nella Virginia e particolarmente nella Pensilvania, ove sovente zampilla naturalmente e con grande forza per la pressione esercitata dai gas, specialmente metano, che lo accompagnano insieme ad acqua salata; alcuni pozzi della Pensilvania dànno fin oltre 300.000 litri nelle ventiquattro ore; pure molto ricco in petrolio è il Messico.

Altre località notevoli sono la penisola Apcheron e la regione di Baku, presso le sponde orientali del Mar Caspio; petrolio esiste pure in Cina, in Persia, a Giava, in Rumenia, Serbia, Germania, Francia, Repubblica Argentina, ecc.

In Italia s'incontra il petrolio in molti punti dell'Appennino piacentino e parmense, collegato specialmente alla formazione delle *argille scagliose*, a Nirano, Velleja, Salsomaggiore, nelle valli di Riglio e di Chero, ecc.; a San Giovanni Incarico nel Casertese; nella Valle del Pescara; nella Valle del Liri; in Sicilia, ecc.

Strettamente collegato al petrolio per composizione ed origine, va ricordato l'*asfalto*, che forma masse brune o nere, compatte o vischiose. Si trova ad impregnare rocce o riempire fessure di esse; esiste anche in depositi stratificati oppure nelle acque di certi laghi.

Fra le località ricche in asfalto bisogna ricordare il Mar Morto o Lago Asfaltide e la valle del Giordano; il lago Asfalto all'isola Trinità, il quale, avente una superficie di 4000 ettari, è quasi interamente ricolmo di asfalto; il lago di Neuchâtel in Svizzera, ecc.; in Svezia poi si osserva associato a quarzo e magnetite.

Nell'Italia s'incontra asfalto abbondante nei depositi di solfo della Sicilia e della Romagna; a Ragusa, alla Maiella, ecc.

PARTE TERZA

GEOGNOSIA

CAPITOLO I.

Petrografia.

Definizione di roccia. Suoi componenti. — Si dice ROCCIA *un minerale o una associazione costante di minerali, che, per l'estensione occupata nella crosta terrestre, possono considerarsi come costituenti principali di essa.*

Dalla definizione risulta che si possono aver rocce *semplici*, se costituite da un solo minerale, come il calcare, il gesso, il serpentino, ecc., oppure *composte*, quando risultano dall'unione di più minerali; così il granito, la sienite, il basalto, ecc.

La grossezza dei componenti di una roccia è variabile; quando sono tali da potere esser facilmente discernibili ad occhio nudo la roccia si dice *macromera*, se invece sono meno facilmente discernibili e può esser necessario l'aiuto della lente, *micromera*, dicendosi poi *afanitiche* o *crittomere* le rocce in cui i componenti sono soltanto visibili con l'aiuto del microscopio.

Se poi in una roccia i componenti presentano contorno cristallino più o meno distinto, essi si dicono *idiomorfi*, mentre sono *allotriomorfi* quando manca questo contorno ed i componenti si modellano gli uni sugli altri. In alcuni casi la roccia presenta insieme componenti idiomorfi ed allotriomorfi; il fatto si verifica specialmente nelle rocce di origine eruttiva, in cui si ebbero due o più *tempi di consolidazione*. Al primo tempo corrispondono minerali idiomorfi, che si formarono mentre la roccia era ancora allo stato di fusione, e che ebbero quindi possibilità di assumere la forma cristallina; la parte rimanente, in tempi successivi, diede origine a minerali idiomorfi, a dimensioni minori, e allotriomorfi, potendosi anche la massa rimanente solidificarsi in forma amorfa, vetrosa. Il fenomeno è ben evidente nei porfidi.

I componenti di una roccia si usano distinguere in *essenziali*, che la determinano esattamente, non potendo mancare senza che la natura di essa sia modificata (così nel granito sono essenziali il quarzo, l'ortosio e la mica);

ed *accessori*, componenti che si possono incontrare più o meno abbondantemente in una roccia, anche semplice, senza che però la loro mancanza abbia influenza sulla natura della roccia stessa.

I componenti accessori possono essere *caratteristici* od *accidentali;* i primi con la loro presenza valgono a stabilire varietà della roccia (calcare albitifero, granito anfibolico, ecc.), mentre gli accidentali non dànno alla roccia un carattere speciale. Non è raro che tali componenti accidentali si trovino (generalmente idiomorfi) inclusi nei componenti essenziali; è questo il caso dell'apatite, del rutilo, dello zircone, ecc., che rappresentano quindi minerali formatisi per i primi nella consolidazione della roccia.

Principali minerali costituenti delle rocce. — In questo paragrafo ci limiteremo ad indicare i principali minerali che possono entrare sia come componenti essenziali che come componenti accessori nelle rocce, dando di ciascuno il sistema di cristallizzazione, la durezza (riferita alla scala di Mohs) Dr, la densità Ds, la composizione chimica e pochi altri caratteri, sufficienti per la determinazione macroscopica. Si avverta che furono indicati come opachi soltanto quelli che si mantengono tali nelle lamine sottili per lo studio al microscopio (1).

Elementi nativi.

Grafite. — Monoclina; Dr 1-2; Ds 1,9-2,3; *C;* in lamelle o granuli di color grigio-scuro; lucentezza submetallica; opaca.

Solfuri.

Calcopirite. — Dimetrica; Dr 3,5-4; Ds 4,2; $CuFeS_2$; color giallo ottone, metallico; opaca.

Pirite. — Monometrica; Dr 6-6,5; Ds 4,8-5,2; FeS_2; color giallo ottone, metallico; opaca.

Marcassite. — Trimetrica; Dr 6-6,5; Ds 4,6-4,8; FeS_2; color giallo chiaro, metallico; opaca.

Pirrotina. — Romboedrica; Dr 3,5-4,5; Ds 4,4-4,6; $Fe_{11}S_{12}$; color giallo bronzo; opaca; magnetica.

Aloidi.

Halite. — Monometrica; Dr 2,5; Ds 2-2,5; $NaCl$; incolora, vetrosa.

Fluorite. — Monometrica; Dr 4; Ds 3-3,07; $CaFl_2$; incolora, vetrosa.

Ossidi.

Quarzo. — Romboedrico; Dr 7; Ds 2,5-2,8; SiO_2; incoloro, vetroso.

Opale. — Amorfo; Dr 6,5; Ds 1,9-2,03; $SiO_2.nH_2O$; incoloro, vetroso.

Ematite. — Romboedrica; Dr 5,5-6,5; Ds 4,5-5,3; Fe_2O_3; nera, metallica; rossa in lamine sottili od in polvere.

---

(1) Senza entrare in particolari, che esorbitano dalla natura elementare del presente volume, ci limiteremo a dire che attualmente la determinazione dei componenti delle rocce si basa essenzialmente sui loro caratteri ottici. Questi vengono studiati al microscopio (a luce ordinaria e polarizzata) mediante *preparati microscopici*, nei quali un frammento della roccia, fissato con balsamo del Canadà sopra un vetrino. viene ridotto a tale sottigliezza da diventare trasparente e quindi studiabile a luce trasmessa.

Magnetite. — Monometrica; Dr 5,5-6,5; Ds 4,9-5,2; $Fe_2O_3.FeO$; nera metallica, opaca; magnetica.

Rutilo. — Dimetrico; Dr 6-6,5; Ds 4,2; TiO_2; giallo oro chiaro; geminati caratteristici a ginocchio.

Carbonati.

Calcite. — Romboedrica; Dr 3; Ds 2,7; $CaCO_3$; incolora, bianca o variamente colorata da impurità.

Dolomite. — Romboedrica; Dr 3,5-4; Ds 2,8; $(CaMg)CO_3$; incolora o bianca.

Silicati.

Feldspati. — Silicati di alluminio con potassa, soda o calce, cristallizzati nel sistema monoclino o nel triclino (*Plagioclasi*).

I principali sono: *Ortosio*; Monoclino; Dr 6; Ds 2,5; $K_2Al_2Si_6O_{16}$; bianco porcellanaceo (*ortoclase*) o incoloro, vetroso (*sanidino*); frequente nelle rocce in geminati secondo la legge di Karlsbad.

I *Plagioclasi*, triclini, con caratteristica geminazione polisintetica, hanno durezza 6-7; densità 2,5-2,8 e sono generalmente incolori o bianchi. Per la composizione chimica dànno le varietà: *Albite:* $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ e *Anortite:* $CaAl_2Si_2O_8$; gli altri plagioclasi si possono considerare come mescolanze di albite e anortite, con prevalenza dell'albite (*oligoclase*), o dell'anortite (*labradorite*) od in parti pressochè uguali (*andesina*).

Leucite. — Dimetrica; Dr 5,5-6; Ds 2,5: $K_2Al_2Si_4O_{12}$; incolora o bianca.

Enstatite. — Trimetrica; Dr 5,5; Ds 3,2; $MgSiO_3$; color verde più o meno intenso per presenza di quantità variabili di ferro; bronzeo nella var. *Bronzite*.

Iperstene. — Trimetrico; Dr 5-6; Ds 4; $(MgFe)SiO_3$; color verde scuro, submetallico.

Pirosseno. — Monoclino; Dr 5,6; Ds 3,2-3,5; *Metasilicato di magnesio, calcio e ferro.*

Le differenti quantità di ferro dànno luogo a varietà: *Diopside*, incolora o quasi; *Diallagio*, lamellare, verde; *Augite* nera, contenente anche allumina e sodio.

Anfibolo. — Corrisponde al pirosseno, da cui differisce per i caratteri ottici e l'angolo di sfaldatura prismatica, che è di 87°,5 nel pirosseno e di 124°,30 nell'anfibolo; le varietà principali sono: *Tremolite* incolora, *Attinoto* verde, *Orneblenda* nera.

Nefelite. — Romboedrica; Dr 5,5-6; Ds 2,5; $(NaK)_2Al_2Si_2O_8$; incolora.

Hauyna. Monometrica; Dr 5,5-6; Ds 2,5:

$$2(Na_2Ca)Al_2Si_2O_8.(Na_2Ca)SO_4;$$ azzurra.

Granato. — Monometrico; Dr 6,5-7,5; Ds 3,1-5,2; nelle rocce è più comune la varietà *grossularia:* $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$, di color rosso o roseo.

Olivina. — Trimetrica; Dr 6,5-7; Ds 3,2-3,5; $Mg_2SiO_4.Fe_2SiO_4$; color verde oliva.

Zircone. — Dimetrico; Dr 7,5; Ds 4-4,7; $ZrSiO_4$; incoloro, giallognolo o roseo.

Tormalina. — Romboedrica; Dr 7-7,5; Ds 2,9-3,3; *Borosilicato di alluminio e magnesio* a composizione complessa. Nelle rocce è più comune la varietà nera, ferrifera.

Mica. — Monoclina; Dr 2-4; Ds 2,7-3. Comprende parecchie varietà, tutte a struttura lamellare caratteristica con facile sfaldatura basale; nelle rocce le più comuni sono: *Muscovite*, incolora o bianca perlacea (*silicato di alluminio e potassio*) e *Biotite*, nera (*silicato di alluminio, potassio, magnesio e ferro*).

Clorite. — Monoclina; Dr 1,3; Ds 2,3-2,9; *Idrosilicato di alluminio, magnesio e ferro;* verde, lamellare.

Serpentino. — Monoclino (?); Dr 2,5-4; Ds 2,5; *Idrosilicato di magnesio e ferro;* da verde a quasi nero.

Talco. — Monoclino (?); Dr 1; Ds 2,5; *Idrosilicato di magnesio;* bianco perlaceo o verdognolo.

Sfeno. — Monoclino; Dr 5-5,5; Ds 3,4; $CaTiSiO_5$.

Fosfati.

Apatite. — Romboedrica; Dr 5; Ds 2,8; $Ca_3(PO_4)_2.Ca(ClFl)_2$; incolora.

Solfati.

Anidrite. — Trimetrica; Dr 3-3,5; Ds 2,9; $CaSO_4$; bianca.

Gesso. — Monoclino; Dr 2; Ds 2,3; $CaSO_4.2H_2O$; bianco.

Struttura delle rocce. — Il modo con cui sono disposti i minerali costituenti di una roccia e la forma varia da essi assunta dànno origine a svariate strutture, in rapporto con l'origine della roccia stessa.

Le principali strutture sono:

Struttura granulare, quando i componenti hanno abito granulare, cioè sono a contorno più o meno definito, modellandosi gli uni sugli altri e potendo essere macromeri o micromeri. Tipo di roccia granulare è il granito.

Struttura porfirica. Analoga alla granulare da cui differisce per il fatto che uno o più elementi della roccia sono in grossi individui idiomorfi, disseminati in una massa fondamentale, micromera o crittomera, costituita da minerali identici od anche diversi da quelli sparsi porfiricamente. La massa fondamentale, o *magma,* può talora esser vetrosa.

Struttura vetrosa. Si ha nelle rocce eruttive, il cui magma primitivo, per rapida solidificazione, diede una massa amorfa, con aspetto di vetro; tale è il caso dell'ossidiana.

Struttura scoriacea. Quando, come ad esempio nelle lave, compariscono nella massa della roccia cavità a dimensioni rilevanti, si ha la *struttura cavernosa;* se le cavità sono piccole e dovute a svolgimento di gas inclusi nella roccia, quando era in via di consolidazione, si ha la *struttura scoriacea*, che è tipica nella pomice. Se le cavità esistenti nella massa sono molto piccole si ha la *struttura porosa* (1).

---

(1) Strutture cavernosa e porosa si possono pure avere in roccie concrezionate, di origine sedimentaria; così nei calcari.

Si ha poi la *struttura amigdaloide* quando le cavità di una roccia scoriacea o porosa vengono riempite da minerali, generalmente di seconda formazione o depositati dalle acque circolanti (zeoliti, calcite, aragonite, ecc.).

Struttura schistosa. In questa i componenti della roccia (od almeno uno di essi) sono disposti a strati o letti secondo una determinata direzione (*piano di schistosità*), nella quale la roccia si lascia facilmente ridurre in lastre talora anche molto sottili. La struttura schistosa è essenzialmente caratteristica delle rocce di origine sedimentaria.

Struttura frammentaria o clastica. Le varie strutture finora considerate sono proprie delle *rocce originarie* od *autigene,* così chiamate per differenziale dalle *clastiche* od *allotigene,* che dànno luogo alla *struttura frammentaria,* per il fatto che sono costituite da frammenti di rocce originarie cementati insieme.

Classificazione delle rocce. — Le parecchie classificazioni proposte dai Petrografi per le rocce sono basate sopra un criterio geologico, oppure sopra la composizione mineralogica o chimica complessiva (distinzione delle roccie in *acide, basiche* e *neutre,* a seconda della percentuale di silice) od anche sulla struttura.

Una classificazione a tipo puramente geologico è quella che divide le rocce nei tre grandi gruppi di *rocce sedimentarie, eruttive* e *metamorfiche.*

Le *sedimentarie* sono quelle formatesi in seno all'acqua, o per precipitazione chimica (calcari, ecc.), oppure per deposito semplicemente meccanico (argilla), nel qual caso sono evidentemente roccie clastiche; talora si ha associazione dei due fenomeni: chimici meccanici (marne). Nelle roccie sedimentarie si ha struttura schistosa e generalmente presenza di fossili.

Le *eruttive* sono quelle dovute ai fenomeni endogeni; non sono schistose e non hanno mai fossili; sono invece cristalline, granulari, vetrose o scoriacee. Con criterio cronologico alquanto arbitrario si usano distinguere in *antiche* e *recenti,* comprendendo nelle ultime quelle formatesi dopo il principio dell'Era terziaria e quelle che si formano tuttora nei vulcani. Le eruttive molto antiche (graniti, ecc.) si dicono anche *plutoniche* distinguendosi ancora in *intrusive* ed *effusive,* secondo che furono eruttate all'esterno oppure si solidificarono in profondità.

Fra le sedimentarie e le eruttive i Geologi pongono tutta una serie di rocce, che formano quasi un tratto d'unione fra queste e quelle; sono le cosidette rocce *metamorfiche,* cristalline, schistose, senza fossili. Esse derivano per lo più da rocce sedimentàrie preesistenti, le quali furono modificate da fenomeni di *metamorfismo,* dovuti alla temperatura, alla pressione, ad emanazioni gassose, ad acque circolanti, ecc.

Conseguenza del metamorfismo fu la comparsa della cristallinità, la formazione di speciali minerali, la scomparsa dei fossili, ecc. Rocce metamorfiche sono molti dei cosidetti schisti cristallini, certi calcari, certe quarziti, ecc.

Una classificazione esclusivamente basata sulla natura dei componenti

mineralogici non è sufficiente, perchè con un criterio siffatto si è costretti a porre vicine certe rocce, le quali, quantunque di uguale composizione mineralogica, pure sono completamente diverse per la struttura; tale sarebbe il caso del granito e del gneiss.

Una buona classificazione deve quindi associare i dati mineralogici con quelli genetici e strutturali; è questo appunto il criterio seguìto dallo Zirkel nella sua classificazione, che seguiremo nella breve descrizione dei principali tipi di rocce.

Lo Zirkel divide fondamentalmente le rocce in *primitive* od *originarie* e *clastiche* o *secondarie* o *di aggregazione*, le quali provengono dalla cementazione di frammenti delle prime.

Le rocce originarie vengono poi distinte in base alla composizione in *semplici* e *composte;* queste ultime, avuto riguardo alla struttura, in *granulari, porfiriche* e *schistose*.

Le granulari alla loro volta sono divise in *feldspatiche* e *non feldspatiche* e finalmente le feldspatiche riunite in gruppi a seconda della natura del feldspato che contengono.

Rocce originarie semplici.

Calcare. — Componente essenziale vi è il *carbonato di calcio* ($CaCO_3$). Si possono quindi aver nel calcare tutte le molteplici strutture presentate dalla calcite come minerale: macrocristallina, microcristallina, granulare, saccaroide, compatta, concrezionata, ecc. Il colore del calcare, essenzialmente bianco, varia però moltissimo per numerose impurità che vi possono esser contenute; sopra il colore (insieme alla struttura) è specialmente basata la distinzione dei *marmi*.

Molte sono le varietà di calcare, fra cui ricorderemo:

C. saccaroide, granulare, che ricorda lo zucchero in pane e fornisce marmi pregiati per l'arte statuaria.

C. concrezionati, di cui sono tipi l'*alabastro calcareo,* pregiato come pietra ornamentale, ed il *travertino,* usato come materiale da costruzione.

C. litografico, compattissimo, omogeneo, ricco in argilla, di colore bigio o giallognolo, usato come pietra da litografia; affini sono i *calcari alberesi*, pure argillosi e di color grigio, ma la cui minor omogeneità e compattezza non ne permette l'uso quale pietra litografica.

C. zoogenici; C. fitogenici (vedi pag. 156); *C. terrosi,* risultanti dall'accumulo di gusci di organismi microscopici (Foraminiferi, ecc.), di cui è tipo la *creta* o *gessetto*.

La presenza di minerali accessori dà pure luogo a molte varietà: *C. anfibolico, pirossenico, albitifero,* ecc., raggruppati sotto il nome di *calcefiri*.

C. cipollino, ricco in lamelle di mica.

I calcari trovano larga applicazione come materiali ornamentali e costruttivi; servono pure per la preparazione della calce, che può essere *aerea* o *idraulica* (capace di fare presa sott'acqua) a seconda che sono privi, o quasi, di argilla o contengono questa nelle proporzioni del 12 al 20 %.

Quando il calcare contiene argilla nelle proporzioni del 20 al 30 % serve allora alla fabbricazione del *cemento*.

Dolomia o Dolomite. — Costituente essenziale è il *carbonato doppio di calce e magnesia* $(MgCa)CO$. Per l'aspetto, la struttura, il colore e l'origine le dolomie sono affini ai calcari, dai quali si riconoscono perchè la caratteristica effervescenza presentata dai carbonati quando siano trattati con gli acidi non si ottiene che a caldo o con acido concentrato.

Varietà sono: *D. saccaroide, compatta, argillosa, cavernosa,* ecc.; questa ultima varietà è detta più particolarmente *carniola* e le cavità esistenti nella massa si devono ritenere dovute a parziale soluzione di calcari ricchi in carbonato di magnesio, meno solubile (fenomeno detto della *dolomitizzazione*).

La dolomia ha minori applicazioni del calcare; può però servire come pietra da calce e fornisce buon pietrisco per le strade.

Marna. — Roccia di origine sedimentaria (lacustre, marina, ecc.) costituita da *calcare* ed *argilla* in proporzioni pressochè uguali; anche il colore è variabile, generalmente grigio o giallognolo per inquinamento di limonite. È frequentemente fossilifera.

Fra altri usi, trova applicazione come correttivo dei terreni (*marnaggio*).

Anidrite. — *Solfato anidro di calcio* $(CaSO_4)$; per lo più di color bianco, con struttura compatta o granulare.

Gesso. — *Solfato idrato di calcio* $(CaSO_4.2H_2O)$. Roccia diffusa, di color bianco, con struttura variabile: compatta, granulare, saccaroide, fibrosa, ecc.; compatta, subtrasparente nella varietà *alabastro gessoso*.

L'origine è variabile: fontigenica, per idratazione dell'anidrite, per deposito marino (la più comune), per trasformazione di calcari al contatto di emanazioni solforose o per presenza nella roccia originaria di solfuri (pirite, ecc.), che alterandosi possono dare acido solforico.

Usato come sostanza cementizia previa cottura non superiore a 130°, che provoca la disidratazione parziale, il materiale potendo in seguito riprendere l'acqua, rigonfiando e indurendo; ha qualche applicazione nell'agricoltura.

Quarzite. — Costituita essenzialmente da *quarzo* (SiO_2); struttura compatta, granulare, saccaroide. Talora schistosa per la presenza di mica; così nella *bargiolina,* scavata al Monte Bracco presso Barge in Piemonte, la quale serve per pavimentazione e copertura di case.

Le *Ftaniti* sono quarziti risultanti dalla associazione di silice con argilla e colorate da ossidi metallici; i *Diaspri*, quarziti di origine organica (vedi pag. 157).

Vicino alla quarzite va ricordata l'Opale $(SiO_2\ nH_2O)$, con le sue varietà *geyserite* e *tripoli*.

Anfibolite. — Roccia metamorfica costituita da *anfibolo* (*attinoto* od *orneblenda*), con struttura granulosa o schistosa (*anfiboloschisto*). Frequenti vi sono i minerali accessori, fra cui il *granato,* avendosi passaggio alla Granatite costituita da *anfibolo* e *granato*.

Serpentino o serpentina. — *Idrosilicato di magnesio e ferro*, con color da verde a nero e struttura compatta o schistosa (*serpentinoschisto*). L'ori-

gine delle serpentine, sia antiche (alpine) che recenti (appenniniche) va ricercata nel fenomeno della *serpentinizzazione*, per il quale taluni silicati di magnesio (pirosseni e, specialmente, olivina), costituenti roccie a tipo fortemente basico, si trasformano appunto nel serpentino, pur conservando talora, almeno parzialmente, il loro abito primitivo.

Il serpentino è usato per pietrisco e ciottolati; la varietà schistosa per copertura di tetti.

Varietà sono: l' *Oficalce*, masse serpentinose con venature di calcite, e l'*ofisilice*, in cui le vene sono di silice; l'oficalce può esser usata come pietra ornamentale (Verde di Prato, Marmo (1) di Polcevera, Verde delle Alpi, ecc.).

Talcoschisto. — Costituito da *talco;* con struttura schistosa e numerosi minerali accessori: pirite, granato, magnetite, ecc.

Cloritoschisto, analogo al talcoschisto, ma costituito da *clorite;* viene localmente usato per copertura di case.

Rocce composte feldspatiche antiche.

Granito. — Componenti: *Quarzo, ortosio, mica* (*muscovite* o *biotite*). Ha struttura granulare tipica e numerosi vi possono essere i minerali accessori: *microclino, oligoclase, albite, anfibolo, pirosseno, tormalina, granato, apatite,* ecc.

Varietà, oltre a quelle date dal prevalere di un componente accessorio (*G. anfibolico, tormalinifero*, ecc.), sono:

Granitite, microcristallina, contenente biotite, oligoclase e granato.

Pegmatite, macromera, ricca in microclino e povera di mica, con frequenti minerali accessori (topazzo, tormalina, berillo, cassiterite, granato, ecc.).

Aplite, micromera, ricca in quarzo, povera o mancante di mica.

Protogino, in cui la mica è sostituita da talco o clorite.

Al granito corrispondono il Porfido felsitico e la Retinite felsitica, la cui struttura porfirica è data dalla presenza di cristalli idiomorfi di ortosio e di quarzo; nella retinite felsitica la massa fondamentale è vetrosa.

Il granito serve come ottima pietra da costruzione ed ornamentale.

Sienite. — Componenti: *Ortosio* ed *orneblenda;* l'anfibolo può essere sostituito da *mica* (*Minetta*), per cui, esistendo quasi sempre *quarzo* come accessorio, si passa al granito. Usata per pavimentazione e come pietra ornamentale per basamenti, colonne e simili.

Corrisponde alla sienite il Porfido non Quarzifero.

Diorite. — Componenti: *Oligoclase* ed *orneblenda;* color scuro fino a nero; struttura granulare macromera o micromera. Contiene numerosi minerali accessori, fra cui *granato*, dando così passaggio alla *granatite*.

Roccia dura e pesante, non ha applicazioni notevoli.

---

(1) Osserviamo qui che il nome di *marmo* non serve esclusivamente ad indicare roccie calcaree, ma qualunque roccia suscettibile di ricevere buona levigatura e politura.

Il suo porfido è la Porfirite, di cui è varietà il *porfido rosso antico*, usato come pietra ornamentale. Proviene dall'Egitto ed il suo colore rosso violaceo sembra dovuto ad un silicato manganesifero (*tulite*) diffuso nella massa in forma di pigmento.

Diabase. — Componenti: *Augite e labradorite*, con *magnetite* ed *ilmenite* (titanato di ferro). Può contenere o no *olivina* (*diabase normale* e *d. peridotica*); può pure contenere quarzo (*d. quarzifera*). La struttura è generalmente afanitica, più di rado granulare; il colore è sovente verde, dovuto a pigmento cloritoso (*viridite*).

Varietà sono: *Spilite*, a struttura amigdaloide; *Variolite*, che nella massa contiene concrezioni sferoidali più o meno voluminose, sporgenti alla superficie a modo di variole; *Porfido labradorico* con il *Porfido verde antico*, usato come ornamentale.

Eufotide. — Componenti: *Diallagio* e *labradorite;* macromera. Dai Toscani è detta *granitone* e dai Tedeschi *gabbro*, nome che in Toscana serve più particolarmente ad indicare diabasi alterate.

L'eufotide può servire come pietrisco; si usa pure per pietre da macina.

Iperstenite. — Costituita da *iperstene* e *labradorite* con *magnetite;* è macromera.

Rocce feldspatiche recenti.

Trachite. — Componenti: *Ortosio* (varietà *sanidino*) e *biotite* od *orneblenda;* può contenere quarzo (*liparite*, corrispondente al granito), o non contenerlo (*trachite non quarzifera*, corrispondente alla sienite). Ha struttura microcristallina od afanitica e deve il suo nome alla ruvidezza che presenta al tatto (τραχὺς = ruvido); il color è biancastro, grigio o rossastro. La massa contiene quasi sempre parti vetrose.

Da considerare come varietà sono: Ossidiana, vetrosa, e Pomice, scoriacea.

Affine alla trachite è la Fonolite, che, per contenere *oligoclase* ed *orneblenda*, si può considerare come corrispondente alla diorite.

Andesite. — Costituenti: *Andesina* ed *orneblenda* (*A. anfibolica*); od *augite* (*A. pirossenica*).

Leucitofiro. — Costituenti: *Augite* e *leucite*; quest'ultima in grossi individui porfirici. Accessorio frequente è la *magnetite*.

Nella Leucotefrite esiste pure come essenziale del plagioclasio.

Nefelinite. — Costituenti: *Nefelina* ed *augite*. Hauynofiro, costituenti haüyna ed augite.

Basalto. — Costituenti: *Augite, labradorite* e *magnetite;* generalmente con *olivina*, corrisponde quindi alle diabasi fra le rocce antiche.

La struttura è variabile: compatta (*basalto propriamente detto*), finamente granulare (*anamesite*), o a grana grossa (*dolerite*).

I basalti sono rocce pesanti, nere, rosse superficialmente per l'alterazione degli elementi ferriferi; hanno la proprietà in condizioni speciali di raffreddamento di dividersi in prismi più o meno regolari (*basalti prismatici*) (vedi *Vulcanismo*).

La varietà vetrosa è detta anche *tachilite*.

Il basalto è localmente usato per pavimentazione, meno come pietra da costruzione.

Rocce non feldspatiche.

Lherzolite (nome da Lherz, località dei Pirenei). — Costituenti: *Olivina*, *diallagio* ed *enstatite* (sostituita talora da *bronzite*). Si trasforma facilmente in serpentino (1); una speciale alterazione non rara nella lherzolite porta alla formazione di *magnesite* (carbonato di magnesio) con segregazione della silice in forma di opale.

Picrite. — Costituenti: *Olivina* e *pirosseno*.

Granatite. — *Anfibolo* e *granato*, con numerosi accessori.

Eclogite. — *Pirosseno* e *granato*.

Rocce schistose.

Gneiss. — Componenti essenziali: *Quarzo*, *ortosio* e *mica* (*muscovite* o *biotite*), corrispondente quindi al granito, del quale presenta tutte le varietà dovute a composizione, e da cui differisce per la struttura schistosa più o meno evidente.

Ha grande applicazione come materiale da costruzione, essendone molto agevolata la lavorazione dalla schistosità.

Micaschisto. — Costituenti: *Mica* e *quarzo*, con frequenti accessori, fra cui *feldspato*, per cui si ha passaggio al gneiss.

Calceschisto. — Costituito essenzialmente da *calcite* e *mica*.

I calceschisti e micaschisti sono localmente adoperati nella copertura delle case.

Rocce clastiche o frammentarie.

Conglomerato. — Risulta dalla cementazione di frammenti fluitati, quindi a spigoli arrotondati (ciottoli o ghiaie); il cemento, per quanto variabile, è più comunemente carbonato di calcio o silice. Varietà è l'*anagenite*, i cui frammenti ed il cemento sono essenzialmente silicei.

Arenaria. — Sabbie cementate analogamente ai conglomerati; alcune varietà servono come pietra da costruzione. Così in Italia la *Pietra forte*, il *Macigno*, ecc.

Arcose. — Proviene dallo sfacelo di rocce gneissiche e granitiche, i cui detriti (specialmente quarzo e feldspato) furono ricementati; sovente in un esame sommario, macroscopico, è difficile a distinguere l'arcose dai gneiss e dai graniti.

Breccia. — Frammenti non fluitati, quindi a spigoli vivi, cementati come gli elementi dei conglomerati.

---

(1) Il gruppo cosidetto delle *Pietre Verdi*, nome proposto, come si vedrà in seguito, da Gastaldi ed ancora in uso, comprende appunto rocce a tinta verde più o meno pronunziata (dovuta alla presenza di silicati ferro-magnesiferi) come serpentino, lherzolite, diabase, anfibolite, eufotide, prasinite (*plagioclasio*, *attinoto*, *clorite*, *epidoto*), ovardite (*albite*, *attinoto*, *clorite*), ecc.

Le brecce sono generalmente *monogeniche*, cioè formate da frammenti tutti della stessa natura, mentre i conglomerati sono normalmente, data la loro origine, *poligenici*, cioè risultano dall'unione di frammenti di rocce diverse.

Molte brecce calcaree dànno marmi pregiati.

Tufi. — Risultano dalla cementazione di deiezioni vulcaniche (ceneri, lapilli, ecc.); il nome di tufo viene sovente adoperato con il significato di marna, ma impropriamente.

Varietà di tufo sono: la *Pozzolana*, che serve a preparare cemento idraulico; il *Piperino*, ecc.

Argilloschisti. — Sono antiche argille rese coerenti e schistose da fenomeni di pressione; possono contenere calcare, facendo allora passaggio alle marne.

Varietà è l'*ardesia*, adoperata per lavagna e nella copertura delle case.

La *porcellanite* non è altro che un'argilla indurita per essere stata portata ad alta temperatura nel contatto di rocce eruttive.

CAPITOLO II.

Paleontologia.

Fossili e fossilizzazione. — Con il nome di *fossili* si indicano i resti dei corpi organici, tanto animali che vegetali, appartenenti per lo più a specie ora modificate o scomparse (talora però ancora viventi), che s'incontrano nelle formazioni sedimentarie, le quali già sappiamo costituire una così notevole parte della crosta terrestre.

Oltre ai resti diretti di organismi sono considerati come fossili anche le tracce di essi, quali orme ed impronte, ed anzi per molte specie non si hanno altre prove dell'esistenza, come, ad esempio, per vermi, uccelli, anfibi, ecc. (fig. 112).

Con il nome di *fossilizzazione* si indica il modo con cui avvenne la conservazione dei resti organici, dei quali si occupa una scienza speciale, parte integrante della Geologia, cioè la *Paleontologia*. Siccome poi, come si è detto sopra, i fossili possono essere tanto di organismi animali che di organismi vegetali, così la Paleontologia comprende due rami: la *paleozoologia* e la *paleofitologia* o *paleobotanica*.

Assiomi fondamentali della Paleontologia si possono ritenere i seguenti:

1° I fossili, salvo casi possibili di rimaneggiamento, sono vissuti nel punto ove ora si trovano.

2° Ad ogni periodo geologico corrisponde un certo numero di specie fossili caratteristiche, le quali sono di validissimo aiuto nello stabilire la cronologia relativa delle formazioni in cui sono contenute.

Diversi modi di fossilizzazione. — Il modo con cui avvenne la fossilizzazione è molto variabile.

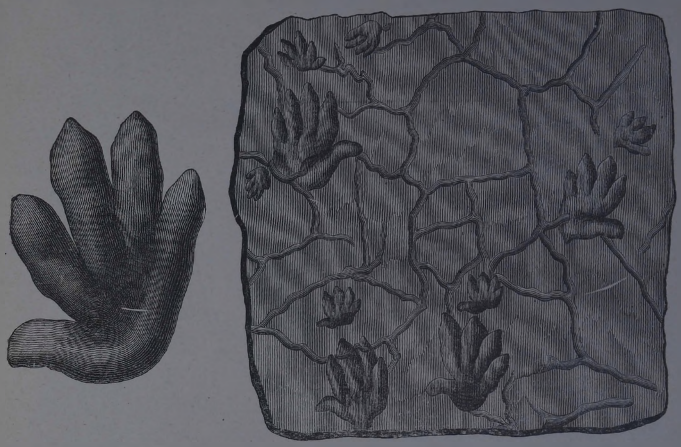

Fig. 112.
A destra una lastra con orme di *Chirotherium* e screpolature di disseccamento; molto rimpicciolita. A sinistra un'orma isolata leggermente rimpicciolita.

Fig. 113.
Capo di *Rhinoceros Merckii* con la sua pelle completa e coperta di peli, scoperto nel terreno gelato della Siberia (dallo Schrenck).

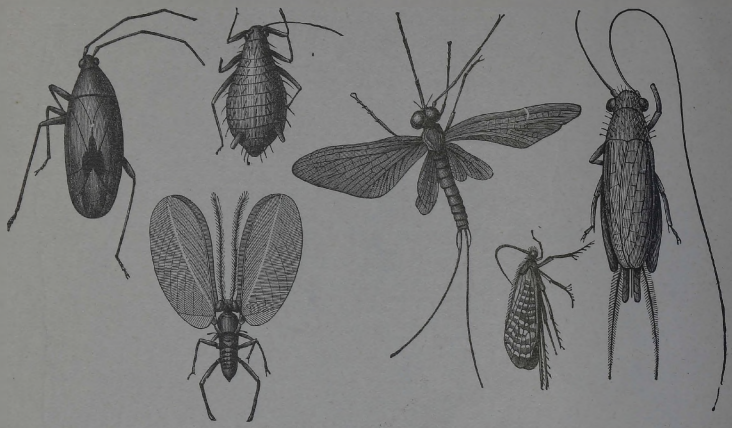

Fig. 114. — Diversi insetti contenuti nell'ambra.

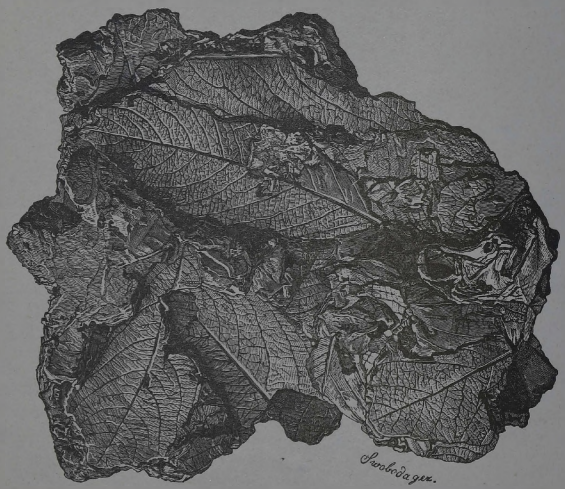

Fig. 115. — Foglie di dicotiledoni conservate nel travertino di Tivoli.

In rari casi si ebbe la conservazione totale dell'organismo animale o vegetale, e questo avvenne in particolari condizioni di ambiente, come di Insetti nell'ambra, di Vertebrati in ghiacci antichissimi (così l'*Elephas primigenius* nella Siberia) (fig. 113) o nelle torbiere (Cervidi ed altri Mammiferi).

Questa conservazione totale si spiega con il fatto che gli Insetti impigliati nell'ambra (fig. 114) vennero così sottratti al contatto dell'aria;

Fig. 116. — 1, Pezzo d'un tronco di *Archaeocalamites radiatus* (*Calamites transitionis*); 2, *Annularia*; 3, *Sphenophyllum* (da F. Römer).

mentre il ghiaccio, per la bassa temperatura, e la torba, per una speciale azione antisettica, ritardano od anche impediscono la putrefazione.

Più comuni sono i fossili rappresentanti parti dure dell'organismo, come ossa, conchiglie, denti, corna o simili state seppellite nelle caverne, nelle alluvioni (fluviali, marine, o lacustri), nelle frane, nei depositi eolici, dune e loess, ecc.; oppure l'incrostazione, specialmente per opera del carbonato di calcio, il quale esercitò un'azione conservatrice, come si verifica, ad esempio, per organismi vegetali nel travertino (fig. 115).

Comuni sono pure le fossilizzazioni dovute alla sostituzione della materia organica operata da sostanze minerali, dando luogo a veri fenomeni di pseudomorfosi (zoomorfosi e fitomorfosi). Frequentemente in questo tipo di fossilizzazione i più minuti particolari dei tessuti, macroscopici e microscopici, furono conservati, avendo la materia minerale sostituita molecola per molecola la sostanza organica; questo fenomeno si osserva molto bene nei legni silicizzati.

Le sostanze minerali che più generalmente diedero luogo a queste sostituzioni sono in prima linea il carbonato di calcio e la silice; in casi particolari si incontra però anche il gesso, la dolomite, la siderite, la pirite (come in certe Ammoniti dei dintorni della Spezia), la calcopirite (come in Pesci degli schisti di Mansfeld), la galena e persino il cinabro, di cui sono noti i fossili di Pesci nel giacimento mercurifero di Idria.

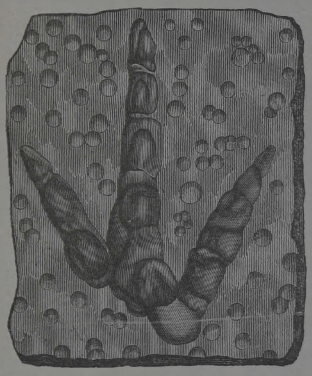

Fig. 117. — Orma di *Brontozoum* e traccie di pioggia nell'arenaria del Connecticut (Dana).

Si hanno pure frequenti fossilizzazioni per *impronte* o *modelli*.

Questi *modelli* si originano quando l'organismo sepolto nel terreno si distrusse lasciando un vano che venne in seguito riempito da materia minerale, la quale si modellò sulla cavità, conservandone sovente le più minute caratteristiche strutturali. Con questo metodo di fossilizzazione fu conservato grandissimo numero di Molluschi, di Echinodermi, di Crostacei, ecc. e la modellatura potè esser fatta tanto della parte esterna che della parte interna dell' organismo. Le *impronte* si hanno quando una parte o tutto l'organismo, premuto e compresso sopra un sedimento molle, vi lasciò traccia di sè in forma di una depressione, per lo più poco profonda.

Nei vegetali, specialmente arborei, un tipo comune di fossilizzazione, che conservò talora mirabilmente la pianta tanto da permettere la determinazione del genere e persino della specie, è la *carbonizzazione* (fig. 116). In questa, per un processo di lenta combustione fuori del contatto dell'aria, l'ossigeno, l'idrogeno e l'azoto dei tessuti si liberarono, mentre avveniva la concentrazione del carbonio.

È notevole poi che nei terreni geologici si possono incontrare vestigia di fenomeni fisici e meteorologici, come ad esempio delle onde del mare, delle gocce di pioggia, ecc. (fig. 117).

CAPITOLO III.

Tettonica.

Formazioni. — Con la parola *formazione* si indica un insieme di terreni che presentano uno o più caratteri comuni per riguardo alla genesi, alla cronologia, alla natura mineralogica, stratigrafica, paleontologica, ecc. Si hanno quindi tipi molteplici di formazioni geologiche, così *continentali*, *marine*, *fluviali*, *lacustri*, *glaciali*, ecc.

Riguardo all'origine le formazioni, come già si è detto per le rocce, pos-

sono radunarsi in tre gruppi principali: *sedimentarie, eruttive* e *metamorfiche.*

Le formazioni sedimentarie, cioè che si sono formate in seno all'acqua, presentano stratificazione e vi è si può dire normale la presenza dei fossili. Riguardo alla natura del materiale possono essere calcaree, argillose, marnose, sabbiose, ghiaiose, ciottolose, torbose, ecc., mentre in quanto all'origine sono marine, fluviali, lacustri, maremmane, fontigeniche, ecc.

Vicino alle formazioni sedimentarie si possono porre quelle d'origine esclusivamente terrestre, dovute per lo più alle azioni meccaniche dell'atmosfera, cioè le formazioni eoliche, quali dune, loess, ecc.

A seconda dell'età antica o recente e della natura mineralogica, le formazioni eruttive dànno luogo alle granitiche, diabasiche, porfiriche, tufacee, basaltiche, trachitiche, ecc.

Fig. 118. — Stratificazione inclinata con testate che simulano disposizione orizzontale (Lyell).

Formazioni metamorfiche infine saranno quelle che risultano dai fenomeni del metamorfismo; così le formazioni cristalline, schistose, certe formazioni serpentinose, ecc.

Alcuni autori usano il termine *terreno* con il significato di formazione; è però più esatto riservare la parola terreno ad indicare un insieme di formazioni connesse da relazione di tempo, di origine, ecc. Si dice quindi propriamente, ad esempio, *terreno carbonifero* per indicare il complesso delle formazioni del periodo carbonifero.

Formazione si dice pure il complesso dei terreni appartenenti ad un determinato periodo geologico; così formazione triasica, ecc.

Stratigrafia. Definizione dello strato. — Uno strato si può definire come *zona rocciosa compresa fra due superficie parallele.*

Dello strato si dice *potenza* lo spessore misurato tra le due superficie limitanti; tale potenza può essere evidentemente molto variabile in corrispondenza al tempo, al modo di deposito, alla natura del materiale, ecc. Se però lo strato è di potenza rilevante allora ad indicarlo si usa più particolarmente la parola *banco*, nome che serve pure a caratterizzare strati di natura affatto differente da quella delle rocce fra cui sono compresi; così si potrà dire un banco di calcare nelle marne, un banco di lignite nella argilla, ecc.

Il punto in cui uno strato comparisce alla superficie del suolo ne costituisce l' *affioramento;* se l' affioramento avviene per la parte terminale (fig. 18) si ha allora la *testata* dello o degli strati.

La disposizione a strati è essenzialmente caratteristica delle rocce sedimentarie, mentre le rocce endogene presentano forma di *filoni* o *dicchi*, cioè spaccature della crosta terrestre riempite dal materiale fluido che vi si è consolidato e che ha potuto uscire e riversarsi all'esterno, costituendo un *espandimento*. Bisogna però tener conto che in seguito a fenomeni di pressione e di laminazione si può talora incontrare *pseudo-stratificazione* in rocce originariamente compatte.

Data la loro origine per deposito in seno all'acqua, gli strati al momento della loro formazione si disposero generalmente in senso orizzontale, ma, in seguito ai movimenti subiti dalla crosta terrestre, essi furono sovente spostati dalla loro posizione primitiva e si presentano variamente inclinati, piegati, contorti, raddrizzati e persino rovesciati.

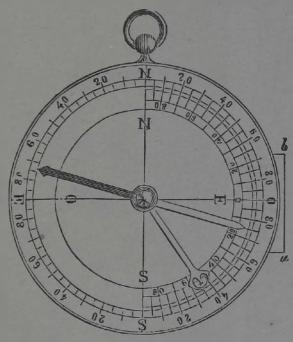

Fig. 119. — Bussola da geologo.

Determinazione della posizione di uno strato. — Onde sia esattamente determinata la posizione di uno strato è necessaria la conoscenza di tre dati, che sono la *direzione*, l'*immersione* e la *inclinazione* dello strato stesso.

Direzione si dice la posizione rispetto ai punti cardinali di una linea orizzontale tracciata alla superficie dello strato.

La *immersione* è la direzione rispetto ai punti cardinali verso cui pende lo strato ed è evidentemente determinata dalla normale alla direzione.

La *inclinazione* infine è rappresentata dall'angolo che il piano dello strato fa con l'orizzonte.

Questi dati vengono determinati mediante un semplice apparecchio che è la *bussola da geologo* (fig. 119); questa non è altro che una bussola normale al cui centro è imperniato un pendolino o *clinometro*, la cui estremità libera si muove sopra un semicerchio diviso in due archi graduati, ciascuno di 90°. Esternamente il margine della bussola è munito di un tacco (*a*, *b* nella figura), fisso o mobile, in modo che appoggiandolo sopra una superficie perfettamente orizzontale il pendolino segna 0° sul semicerchio graduato. Data la mobilità del pendolino si capisce che appoggiando il tacco sopra una superficie inclinata, e quindi sopra uno strato nella direzione dell'immersione, spostandosi sul cerchio graduato, il pendolino segnerà la inclinazione dello strato considerato, mentre immersione e direzione si determineranno direttamente con la bussola.

Volendo indicare graficamente su una carta la posizione degli strati si usano segni convenzionali, così con ⊢⊣ gli strati verticali, con + quelli orizzontali e con ⊓⊔ quelli contorti. Nel caso di strati inclinati si usa il segno ⊿ in cui la freccia indica con la sua direzione l'immersione e la

normale ad essa la direzione dello strato; nell'angolo fatto dalle due rette si può segnare il valore dell'inclinazione misurata con il clinometro.

Stratificazioni concordanti e discordanti. — Se in una serie gli strati sovrapposti mantengono regolarmente il loro parallelismo si dicono allora

Kig. 120. — Strati discordanti sovrapposti.

concordanti ed in questo caso uno strato inferiore è sempre di età più antica di quelli superiori. Può però avvenire che, specialmente in formazioni di età diversa, venga a mancare questo parallelismo, avendosi, ad esempio, strati orizzontali od inclinati in un determinato senso, su cui poggiano

Fig. 121. — Discordanza a bacino.

altri inclinati diversamente o variamente contorti e raddrizzati. Si dice allora che vi ha *discordanza*, o che gli strati sono *discordanti* (fig. 120).

Un tipo speciale di discordanza negli strati è quello detto *a bacino*, nel quale una depressione di età più antica fu posteriormente riempita da depositi sedimentari (fig. 121).

Si ha infine *trasgressione* di uno strato sopra un altro quando il primo si estende ad un'area più vasta che non il sottostante, venendo quindi a ricoprire due o più depositi diversi per costituzione e per età.

Ripiegatura degli strati. — Oltre ai casi precedentemente considerati di strati orizzontali o semplicemente inclinati, conservando quindi la forma di un piano, altri se ne possono avere con pieghe e ondulazioni variabili (fig. 122), che sono conseguenza dell'elasticità e della plasticità più o meno

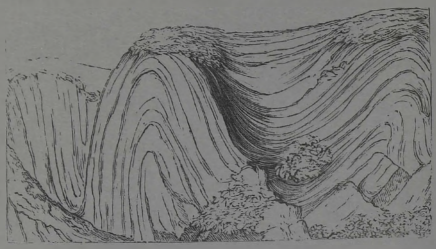

Fig. 122. — Strati di scisti incurvati, presso St-Abb's Heat nel Berwickshire.

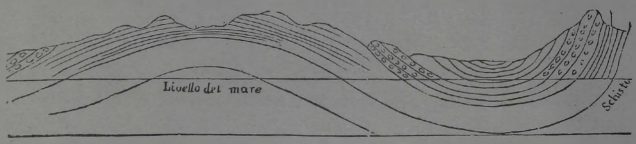

Fig. 123. — Sezione del Forfarshire da N O a S E, con una anticlinale ed una inclinale (LYELL).

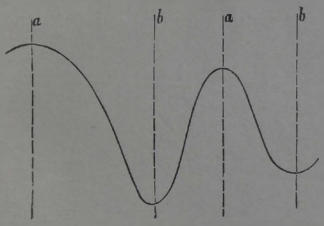

Fig. 124.
Anticlinali e sinclinali rette.

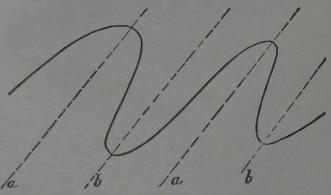

Fig. 125.
Anticlinali e sinclinali oblique.

a, Piano di anticlinale. - *b*, Piano di sinclinale.

grande presentate dalle rocce sotto le azioni deformatrici della crosta terrestre.

In una ripiegatura completa di strati si ha forma ad S e quindi presenza di una parte convessa (*anticlinale*) e di una parte concava (*sinclinale*) (fig. 123).

Piano assiale si dice il piano che biseca l'angolo diedro (detto anche *cerniera*) formato dai due *fianchi* opposti della piega (fig. 124) e che può quindi esser piano assiale di anticlinale o di sinclinale.

Se in una serie di pieghe i piani assiali sono verticali, le pieghe stesse si *dicono normali* o *simmetriche,* mentre sono *asimmetriche* quando i piani

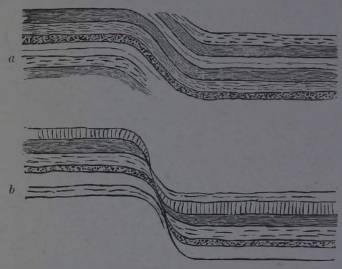

Fig. 126. — Pieghe monoclinali.
a, senza frattura; *b*, con frattura.

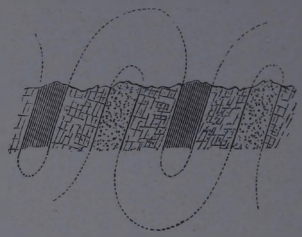

Fig. 127. — Pieghe isoclinali.

assiali sono obliqui (fig. 125); nelle pieghe asimmetriche l'inclinazione dei piani assiali può essere più o meno grande per cui, con tutta una serie di passaggi graduali, si va dalla piega simmetrica o *diritta* a quella *coricata*, in cui il piano assiale si avvicina o raggiunge la posizione orizzontale.

Diversi tipi di pieghe. — Fra i molteplici tipi di pieghe che s'incontrano nelle formazioni stratificate possiamo ricordare:

Piega diritta o normale, in cui si ha uguale inclinazione ai due lati dell'anticlinale; è però caso meno comune, avendosi generalmente deformazioni dovute a spinte disuguali od all'incontro di ostacoli.

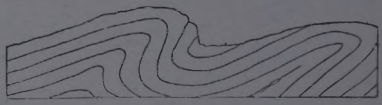

Fig. 128. — Pieghe rovesciate.

Piega monoclinale (fig. 126) rappresentata da una repentina ripiegatura degli strati; sovente nella piega monoclinale gli strati si assottigliano come se avessero subìto uno stiramento od una compressione. L'assottigliamento anzi può esser spinto fino alla scomparsa di qualche strato, essendo allora la piega sostituita da una *faglia* o rigetto.

Piega isoclinale (fig. 127) che si ha quando i diversi piani assiali della serie di pieghe, siano esse diritte o rovesciate, si mantengono paralleli e così pure in conseguenza i fianchi delle varie pieghe.

Piega rovesciata (fig. 128) nella quale il piano assiale è inclinato ed i due fianchi non presentano la stessa inclinazione; qualchevolta soltanto uno dei fianchi della piega è leggermente rovesciato, mentre l'altro si mantiene normale.

Piega coricata, quando i due fianchi sono portati vicino alla posizione orizzontale; in questo tipo si possono avere strati più antichi che vengono a sovrapporsi a strati più recenti. Notiamo come nel caso di pieghe coricate può succedere che esse siano portate fin oltre la posizione orizzontale.

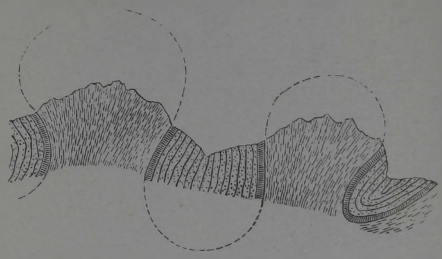

Fig. 129. — Pieghe a ventaglio.

Piega a ventaglio (fig. 129) in cui i fianchi anzichè mantenersi paralleli, come nelle pieghe isoclinali, tendono ad avvicinarsi strozzandosi verso l'alto o verso il basso, dilatandosi quindi a guisa di ventaglio nella parte opposta alla strozzatura.

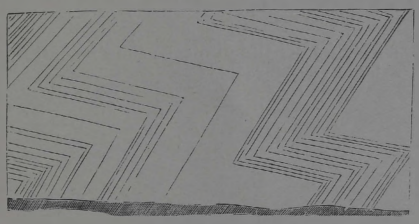

Fig. 130. — Pieghe a *zig-zag* della formazione carbonifera di Mons, nel Belgio.

Fig. 131. — Flessione di strati con rigetto.

Piega a zig-zag (fig. 130), nella quale si ha ripetizione di pieghe spezzate che sono conseguenza della poca plasticità della roccia e dell'intensità delle pressioni subite.

Piega-rigetto o *piega-faglia* (fig. 131), che si ha quando in seguito allo stiramento subìto da una piega coricata non solo ne risultò un assottigliamento, come si è visto nelle pieghe monoclinali, ma vi fu addirittura una rottura accompagnata dallo spostamento dei diversi strati.

Carreggiamenti. — Quando in pieghe coricate avvenga rottura, può succedere che una parte degli strati venga spinta innanzi alla seconda fino ad essere portata a ricoprire altre formazioni di età anche più recente; il fenomeno,

studiato e determinato in questi ultimi anni, si indica con il nome di *carreggiamento* e senza di esso la struttura geologica di certe regioni sarebbe affatto inspiegabile.

Lembi enormi di rocce varie possono per carreggiamento esser stati spinti anche in zone relativamente lontane, passando al di sopra di intere regioni a costituzione geologica del tutto differente; gli strati carreggiati mancano evidentemente di *radice* e si trovano situati sopra terreni che non sono la loro base originaria. Così si ammette che le Alpi Bernesi non sian formazioni in posto, ma che furono originate dal carreggiamento di rocce venute probabilmente dalle Alpi Piemontesi.

Non è da nascondersi però che in questi ultimi anni taluni autori abbiano esagerata l'importanza dei fenomeni di carreggiamento, servendosene senz'altro per dar la spiegazione della tettonica complicata di parecchie regioni; così non è per nulla provato (anzi dimostrato negativamente) che certe formazioni della Sicilia rappresentino, come ammise qualche geologo francese, carreggiamenti di rocce dell'Africa Settentrionale; lo stesso si dica per i pretesi carreggiamenti dell'isola d'Elba, ecc.

Fenomeni di frattura. — Nei movimenti di dislocazione della crosta terrestre, che portarono ai corrugamenti, alla ripiegatura o ad altri spostamenti degli strati, non è infrequente, data la relativa plasticità delle rocce, che si siano provocate rotture e quindi soluzioni di continuità, che, con vocabolo proposto dal Daubrée, si usano chiamare genericamente *litoclasi*.

Fig. 132. — Rigetto semplice.

Tali soluzioni di continuità servirono in molti luoghi al passaggio di rocce effusive, originando, come già si è detto, i *dicchi;* oppure furono riempite con processo variabile, più comunemente per opera dell'acqua, da sostanza minerale, dando luogo ai *giacimenti filoniani* (1).

Le litoclasi vengono anche suddivise in *diaclasi,* quando la fratturazione non fu accompagnata da spostamento nelle masse rocciose, che si corrispondono quindi esattamente ai due lati del piano di rottura, e *paraclasi,* quando invece la frattura fu accompagnata da spostamenti laterali che possono essere più o meno accentuati, da pochi centimetri fin a centinaia di metri. Le paraclasi vengono anche indicate con i nomi di *salti*, *rigetti* o *faglie* (dal vocabolo francese *faille*) (fig. 132).

Piano di rigetto è quello lungo il quale avvenne lo scorrimento in una paraclasi; non è raro che in corrispondenza di esso le rocce presentino la loro superficie più o meno striata o levigata, anche perfettamente lucidata; un fenomeno analogo si verifica non di rado nelle rocce quando avvenne lo scorrimento di uno strato sopra l'altro (*piano di scorrimento*).

Talora al piano di rigetto corrisponde una soluzione di continuità, più o

(1) Per i giacimenti filoniani, come per quelli di altro tipo, si vegga l'apposito capitolo in Roccati, *Mineralogia,* opera citata.

meno accentuata, in cui si accumularono e si cementarono frammenti staccati dalle pareti della litoclasi, originando le cosidette *brecce di frizione;* oppure lungo il piano di rigetto risultarono cavità (fig. 133), che poterono dall'azione delle acque esser riempite da sostanza minerale, originando depositi metalliferi.

Orogenesi. Formazione dei rilievi terrestri. — Già nella *Morfologia* (cap. V) si è detto delle ineguaglianze e delle accidentalità che, con il loro complesso, formano il rilievo terrestre.

Ora qual'è l'origine delle montagne, o più generalmente, delle dislocazioni che esercitarono, come si può dire esercitano tuttora, la loro influenza nel modificare il rilievo terrestre?

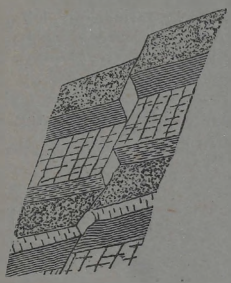

Fig. 133. — Vacui risultanti da rigetti.

Tralasciando le opinioni in proposito dei naturalisti antichi e del Medio Evo, che già brevemente furono adombrate nel *Cenno storico*, possiamo ricordare come nella prima metà dello scorso secolo ebbero essenzialmente favore due teorie. L'una, *teoria del sollevamento*, nella quale si ammettevano le montagne come dovute a spinte verticali esercitate, dal basso all'alto, dai materiali interni della Terra, i quali, allo stato di fusione, cercavano una via di uscita con il sollevare i materiali sedimentari accumulati alla superficie. L'altra, *teoria degli sprofondamenti,* nella quale le montagne avrebbero dovuto semplicemente rappresentare porzioni della superficie terrestre restate inalterate, mentre si sprofondavano le regioni circostanti.

In seguito agli studi diligenti e geniali sull'argomento di molti Geologi si ammette attualmente che il raffreddamento, per quanto lentissimo, delle parti interne della Terra abbia portato, e porti, ad una contrazione nella sua massa e quindi ad una diminuzione di volume, che viene ancora accentuata nella continua emissione di materiali eruttivi per opera dei vulcani.

La rigida crosta terrestre venne, e viene, quindi, in conseguenza a perdere il suo equilibrio, per ritrovare il quale deve necessariamente cercare di diminuire la sua superficie con corrugamenti, ripiegature e sprofondamenti più o meno accentuati e con fenomeni di fratturazione, in cui abbiamo visto a suo tempo l'origine dei terremoti tellurici.

Ora in questi movimenti, molto più intensi nel passato che non nell'attualità, sí avrebbe essenzialmente la causa dei due tipi fondamentali di rilievo, modificati poi più o meno dai fenomeni di erosione e di denudazione.

Un primo tipo è dovuto ai movimenti di tensione orizzontale o tangenziale, che portarono al corrugamento ed alla formazione di pieghe grandiose; quindi deformazioni in senso orizzontale, più o meno complicate ed avvenute, a parecchie riprese, con intervalli di tempo fra l'una e l'altra anche lunghissimi. È questo il tipo delle *montagne di corrugamento*, come le Alpi, i Pirenei, il Giura, l'Imalaia, ecc.

In un secondo tipo, sotto l'azione di tensioni verticali dirette normalmente alla superficie, in regioni specialmente di formazioni antiche, quindi irrigidite e meno suscettibili di corrugamenti, si ebbero *sprofondamenti* o *circolari* (che originarono bacini marini) o *lineari*, limitati dai margini della frattura, semplici o a gradinate, che portarono ai caratteristici solchi della crosta terrestre, i cosidetti *graben*, quali la fossa del Reno, il Mar Rosso, i *Rifts* africani, ecc.

Ora in questi fenomeni di fratturazione e di sprofondamento, mentre una

porzione della crosta terrestre si abbassava, un'altra poteva, per contraccolpo, rialzarsi, oppure aree comprese tra le linee di frattura potevano restare inalterate, venendo quindi a sporgere, dando il tipo di *montagne di fratture*, che il Suess propose di chiamare *horst*. Tali sono i Vosgi e la Foresta Nera limitanti la valle del Reno; il Massiccio Centrale della Francia; l'Erzgebirge della Germania; il Ruwenzori dell'Africa equatoriale, ecc.

A questi due tipi fondamentali, che rappresentano i maggiori rilievi e nei quali, pure prevalendo l'uno, poterono anche associarsi i due modi di dislocazione, per corrugamento e per frattura, altri due si possono aggiungere, evidentemente di minor importanza: l'uno delle *montagne di accumulazione*, dovute all'accumulo di materiali di origine varia: vulcanica, glaciale (morene), eolica (dune, ecc.); l'altro delle *montagne di erosione*, conseguenti cioè a fenomeni di erosione e generalmente poco elevate, con forma molto variabile a seconda della natura delle rocce.

Per spiegare la formazione delle catene montuose, l'Argand ha recentemente proposto una nuova teoria, che si può dire del *mobilismo* e derivata da quella di Wegener sullo spostamento dei continenti, a cui si è precedentemente accennato (pag. 36). Secondo l'Argand il sottile strato di *sial* che costituisce il fondo degli oceani potrebbe venir spinto in avanti da un continente in movimento e pieghettato a modo di un tappeto. Incontrando un ostacolo sul suo cammino, ad esempio un altro continente, su di esso il *sial* si riverserebbe in forma di pieghe, ampie o strette a seconda della natura delle azioni e reazioni conseguenti, il che darebbe una spiegazione dell'origine delle montagne che si presentano in ampi banchi coricati in una determinata direzione, quali sono quelli considerati nella teoria dei carreggiamenti.

Le Alpi si sarebbero così originate in una spinta esercitata dall'Africa sull'Europa; l'Africa poi ritirandosi avrebbe lasciato sull'Europa meridionale una copertura estesa dall'Austria fino alla Svizzera, con una linea Vienna-Grigioni, Lucerna e prealpi friburghesi.

CAPITOLO IV.

Geologia storica.

Divisioni della Geologia storica. Era. — Si è già detto in principio del presente volume come la Geologia storica cerchi di determinare non la cronologia assoluta delle formazioni terrestri, ma soltanto una cronologia relativa. Una cronologia assoluta è infatti allo stato delle cognizioni attuali impossibile e si può ritenere che forse lo sarà sempre, mancando precisi criteri di valutazione; basti accennare che secondo calcoli del Reylegh ed altri, impostati sullo studio dei minerali uraniferi, l'età della Terra non sarebbe inferiore ad un miliardo di anni, mentre altri calcoli fatti prendendo per base, ad esempio, il raffreddamento, dànno valori oscillanti fra 20 e 400 milioni di anni.

La cronologia relativa è invece possibile mediante i dati forniti dalla Litologia, dalla Tettonica e dalla Paleontologia, dati che sono preziosi, quando bene interpretati, perchè non solo permettono di stabilire l'ordine di successione secondo cui si sovrapposero le diverse formazioni, ma permettono pure di determinare le vicende che si sono alternate nella evolu-

zione della Terra: emersioni, sommersioni, modificazioni climateriche, fenomeni eruttivi, comparsa, modificazione e scomparsa degli organismi, ecc.

Ora nella storia della Terra, per quanto si tratti evidentemente di un fatto continuo, fu dai Geologi stabilita una successione di cinque divisioni a cui si diede il nome di *Ere,* le quali, prendendo essenzialmente come indicazione caratteri desunti dalla natura degli organismi, sono dette rispettivamente:

Era Arcaica;
» Paleozoica o Primaria;
» Mesozoica o Secondaria;
» Cenozoica o Terziaria;
» Antropozoica o Quarternaria.

In ciascuna di queste Ere fu poi distinto un certo numero di divisioni meno comprensive, i *Periodi;* alle êre ed ai periodi limiteremo il nostro breve studio della Geologia storica, indicando però che si sono stabilite ancora ulteriori divisioni, quali le *epoche* e le *età.*

a) Era Arcaica.

Considerazioni generali. — L'*Era arcaica*, il cui nome fu proposto dal Dana nel 1876, è anche detta *terreno primario* o *primitivo* e, meno propriamente, *Era azoica,* che presuppone la mancanza assoluta in essa di organismi, cosa che attualmente non sembra potersi affermare in modo assoluto. Essa dovette essere lunghissima, più estesa che tutte le altre êre prese insieme; le sue formazioni, che costituiscono la parte fondamentale della crosta terrestre, stanno alla base di tutti i terreni sedimentari e, per quanto a noi soltanto in parte visibili, pure hanno una potenza che si può ritenere da 15 a 20 mila metri. Esse sono rappresentate da rocce in cui è caratteristica la struttura stratificata unita alla perfetta cristallinità ed essenzialmente da *gneiss* e *micaschisti* con *talcoschisti, cloritoschisti,* e *pietre verdi (anfiboliti, dioriti, eufotidi*, ecc.); *calcari, dolomie* e *quarziti.* Frequenti ed estese poi sono intrusioni di *rocce granitiche*, che in molti casi fanno passaggio così graduale alle gneissiche che è difficile segnare fra i due tipi un limite assoluto.

Si può ritenere che durante l'arcaico regnasse sulla Terra un *clima* uniforme, relativamente caldo e molto umido, data la grande quantità di vapore acqueo che, con anidride carbonica, doveva esistere nell'atmosfera. Il regime fu essenzialmente marino, essendo la superficie terrestre ricoperta ad ampi oceani poco profondi, differenti dagli attuali per la temperatura più elevata e la salsedine meno accentuata.

La *Tettonica* delle formazioni arcaiche è molto complicata, il che si capisce pensando non soltanto al tempo immenso da cui sono sottoposte alle azioni orogeniche, ma pure al fatto che importanti corrugamenti e potenti dislocazioni si dovettero verificare nel corso della lunghissima êra, accompagnati da fenomeni eruttivi e, sembra ora provato, anche da glacialismo.

Divisione dell'Arcaico. — Per quanto le formazioni arcaiche siano sviluppatissime, pure la mancanza, o quasi, in esse, di resti organici non permette che una divisione basata esclusivamente sopra criteri litologici, i quali non sono quindi sempre applicabili alle differenti regioni.

Con tali criteri i Geologi americani, seguendo il Logan, fin dal 1850 hanno divisa l'Era arcaica in due periodi: *Laurenziano*, più antico e *Huroniano*, più recente, nei cui terreni anzi, che fanno passaggio a quelli dell'Era primaria, sono state trovate le tracce più antiche degli organismi.

Il *Laurenziano* (dal fiume San Lorenzo al Canadà) comprende essenzialmente *formazioni gneissiche*, con *graniti, calcari* (1), *quarziti* e *serpentine*.

L'*Huroniano* (dal lago Huron nel Canadà) comprende *schisti cristallini, micaschisti, cloritoschisti, talcoschisti, calcari, dolomie, quarziti* e forse anche *arenarie* e *conglomerati*, che rappresenterebbero le prime prove della degradazione meteorica alla superficie terrestre.

All'Huroniano sono pure riferiti i terreni detti *precambriani*, che una volta si ponevano alla base del Primario e nei quali, come vedremo, furono determinate indubbie tracce di organismi.

In Italia il Gastaldi aveva diviso l'Arcaico delle Alpi nella *zona del gneiss centrale*, inferiore, corrispondente al Laurenziano, e *zona delle Pietre verdi*, superiore, con serpentine, anfiboliti, eufotidi, diabasi, ecc.; questa seconda zona, che avrebbe potuto rappresentare l'Huroniano, fu da recenti studi dimostrata molto più giovane ed è ora ascritta al Mesozoico.

Fossili dell'Arcaico. — Nelle formazioni più antiche dell'Arcaico non esistono traccie di esseri viventi, il che però non implica in modo assoluto che non ne siano esistiti. Non è infatti improbabile che le rocce cristalline del terreno ritenuto primitivo non siano invece che il risultato del metamorfismo profondo di formazioni, più antiche e fossilifere, state distrutte totalmente.

Nei terreni più recenti le lenti calcaree, ferruginose e grafitiche, che sovente s'incontrano, hanno, almeno in parte, origine organica; del resto in questi ultimi anni, nei terreni precambriani, a metaforfismo meno profondo, furono trovati avanzi più o meno evidenti di *Alghe, Foraminiferi, Radiolarie, Spugne, Echinodermi, Anellidi, Molluschi* e *Crostacei*.

---

(1) In calcari serpentinosi intercalati nello gneiss del Laurenziano canadese fu osservato da W. Logan (1858) e Mac Mullen (1863) una dubbia specie di *Foraminifero*, che fu studiata dal Dawson e descritta sotto il nome di *Eozoon canadense*. Si presenta in forma di arnioni risultanti internamente da lamelle irregolari, alternate, di serpentino o di pirosseno con calcite; secondo Dawson le parti verdi rappresenterebbero le logge del guscio del Foraminifero state riempite posteriormente dalla calcite. In seguito altre specie furono scoperte in formazioni dell'Irlanda, della Boemia, della Silesia e dei Pirenei, e descritte con i nomi di *E. bohemicum, bavaricum*, ecc., mentre qualche autore (Hahn nel 1879) li riferiva invece al regno vegetale, indicandoli con il nome di *Eophyllum*.

La natura organica dell'*Eozoon* è però molto dubbia, anzi da ritenersi come non accettabile, specialmente dopo le ricerche di Johnston-Lavis, Gregory, Gratacap ed altri; secondo Möbius, che dedicò minuziose ricerche alla natura dell'*Eozoon*, si tratterebbe semplicemente di speciali concrezioni minerali suscettibili di prodursi in tutte le intime associazioni della calcite con il serpentino ed il pirosseno.

Distribuzione geografica dell'Arcaico. — Per quanto i terreni arcaici debbano essere continui e formare un involucro ininterrotto attorno al Globo, essi sono però in gran parte mascherati dalle formazioni sedimentari che si sono depositate in appresso; laddove poi affiorano sono in gran parte emersi fin dall'Era secondaria, per cui furono ovunque fortemente erosi, costituendo ora sovente *tavolati* o *peneplani*.

Lo sviluppo dell'Arcaico si ha essenzialmente nelle parti settentrionali dell'emisfero boreale: Canadà, Alaska, Montagne Rocciose, Groenlandia, Finlandia e Scandinavia.

Ricordiamo inoltre in America, le formazioni del Messico, del Cile e del Brasile; in Asia quelle dell'Ural, della Siberia, della Cina, della Corea, dell'Imalaia e dell'India; in Africa delle regioni etiopiche, centro-meridionali e del Madagascar; quelle dell'Australia e della Nuova Zelanda; in Europa della Scozia e Irlanda, della Baviera, della Boemia, della Francia, della Spagna e dei Balcani.

Per l'Italia l'Arcaico costituisce l'ossatura delle Alpi, con i massicci del Monte Bianco, del Gran Paradiso, del Monte Rosa e dell'Argentera (Alpi Marittime); le formazioni della Sila e dell'Aspromonte in Calabria, di cui i Monti Peloritani della Sicilia non sono che la continuazione interrotta dallo stretto di Messina; quelle della parte centrale ed orientale della Sardegna, a cui si riattaccano quelle della Corsica, dell'Elba, dell'isola del Giglio, della Gorgona e del Capo Argentaro.

b) Era Paleozoica o Primaria.

Considerazioni generali. — L'*Era paleozoica* (da παλαιός = *antico* e ζῶον = *animale*) comprende un periodo di tempo nella storia della Terra che dovette esser molto lungo e cioè di parecchi milioni d'anni, il che spiega le molte trasformazioni subite dagli organismi nell'êra stessa e la sua potenza stratigrafica, che secondo certi autori raggiungerebbe i 30.000 m.

Similmente a quanto fu detto per l'Arcaico, essendo le formazioni del Paleozoico emerse da tempi antichissimi, esse si presentano ora profondamente erose ed hanno sovente dato origine a *tavolati* e *peneplani*.

L'Arcaico si chiuse con potenti azioni orogenetiche che ebbero come conseguenza numerose e profonde dislocazioni, accompagnate da pieghe, fratture, ecc., cui seguirono, oltre ad erosioni profonde, fenomeni eruttivi ed emersione di continenti. Il fenomeno orogenetico si continuò durante tutto il Paleozoico, ma si accentuò specialmente verso la sua fine, per cui i bacini marini, dapprima ampi, irregolari e poco profondi, si ridussero a favore delle terre emerse, con formazione di estese zone non soltanto maremmane e paludose, ma anche montuose.

Altra conseguenza dei fenomeni orogenetici furono parecchie fasi di glacialismo, di cui si hanno prove, specialmente accertate nell'ultimo periodo del Paleozoico, nel Brasile, nell'Africa meridionale, nell'Australia, nella Tasmania e nell'India.

Il clima fu umido, mite ed uniforme, con stagioni ancora poco distinte, forse in conseguenza della densa atmosfera, ricca di vapore acqueo e di anidride carbonica e che soltanto si depurò durante l'ultima parte dell'èra, con lo sviluppo enorme assunto dai vegetali. L'uniformità di clima spiega il vero cosmopolitismo delle forme organiche del Paleozoico, specialmente nei primi periodi.

Intanto le acque marine diventavano più salate e specialmente ricche in carbonato di calcio, il quale dà ragione del frequente corazzamento calcareo che si osserva in molti animali marini, vertebrati ed invertebrati; alcuni di questi costretti dal loro peso a strisciare sul fondo, vi lasciarono numerose impronte vermicolari, che sono indicate con il nome di *bilobiti*.

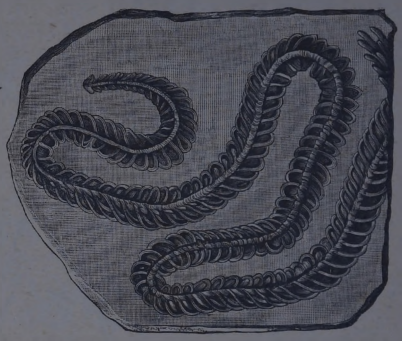

Fig. 134.
Nereites cambrensis, supposta nemertilite (Römer).

Divisione dell'Era paleozoica. — L'Era paleozoica può essere divisa nei seguenti periodi: *Cambriano, Siluriano, Devoniano, Carbonifero e Permiano;* avvertendo come il primo non è da tutti ammesso, essendo le sue formazioni ascrite in parte alla fine dell'Arcaico ed in parte comprese nel Siluriano.

Si usa pure riunire i due periodi Permiano e Carbonifero in un unico, detto *Permo-carbonifero* od anche *Antracolitico,* per indicare l'importante fenomeno della formazione dei carboni fossili, da cui è caratterizzato.

1° Cambriano. — Il nome di Cambriano, proposto nel 1835 da Sedgwick, deriva da Cambria, nome latino del Paese di Galles in Inghilterra. Il Cambriano, le cui rocce sono essenzialmente *arenarie, quarziti* e *schisti* vari, con qua e là intrusioni di *granito* e di *diorite,* fu caratterizzato da uniformità di clima e da regime prevalentemente oceanico, per quanto già comincino a delimitarsi aree continentali.

La *flora,* scarsa, è rappresentata da poche alghe, fra cui *Fucoidi* con i gen. *Oldhamia* ed *Eophyton.*

Nella *fauna,* oltre a *bilobiti,* vanno ricordate traccie lasciate da *Vermi* striscianti nei fondi melmosi e dette *nemertiliti,* fra cui *Nereites* (fig. 134).

Vi sono pure Spugne (*Protospongia*); Briachiopodi (*Orthis, Lingula*); Cefalopi (*Orthoceras*); Molluschi, univalvi e bivalvi, e Crostacei, con la comparsa delle *Tribobiti,* che saranno poi caratteristiche del periodo seguente.

Le formazioni cambriane sono specialmente sviluppate in Inghilterra:

Scozia, Irlanda e Paese di Galles, da cui presero il nome e dove secondo qualche autore avrebbero potenza di 8 a 10 mila metri; in Scandinavia, Russia, Boemia, Sassonia e Francia; fuori d'Europa in Siberia, Cina, India, Australia, America del Nord (Montagne Rocciose) e del Sud (Repubblica Argentina); in Africa vanno forse riferiti al Cambriano i ricchi depositi auriferi del Witwatersrand.

Fig. 135. — *Favosites Gotlandicus* di Gotland, Siluriano superiore (Römer).

In Italia il Cambriano esiste in Sardegna, nell'Iglesiente, con arenarie, quarziti ed argilloschisti.

2° Siluriano. — Questo nome, proposto da Murchison nel 1835, deriva dai Siluri, antico popolo abitante il Paese di Galles.

Durante questo periodo il clima continua uniforme e si hanno bacini marini poco profondi; le rocce sono *arenarie, quarziti, argilloschisti* e

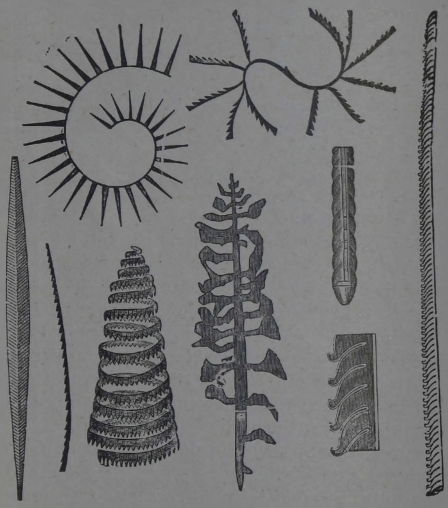

Fig. 136. — Graptoliti siluriani (Zittel).

calcari con *sieniti* e *graniti;* depositi metalliferi con ferro, rame, piombo e zinco sono connessi alle formazioni siluriane dell'America.

La *flora* comprende Alghe (*Oldhamia antiqua*) e tracce di Crittogame vascolari e forse di Conifere.

Nella *fauna* vanno ricordati: Protozoi, con *Foraminiferi* e *Radiolari;* Coralli (*Favosites*) (fig. 135); Briozoi (*Halysites*), Idrozoi (*Graptoliti*) (fig. 136); Echinodermi (*Echinosphaerites*), (*Cyathocrinus*); Brachiopodi (*Orthis, Leptaena*); Lamellibranchi (*Arca*); Gasteropodi (*Bellerophon*);

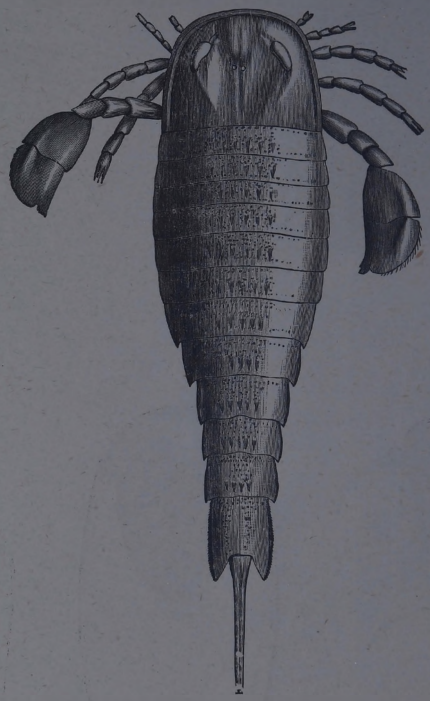

Fig. 137. — *Eurypterus Fischeri* del Siluriano superiore del Baltico. Circa 1/5 della grandezza naturale (dal NIEDZKOWSKY).

Pteropodi (*Tentaculites*); Cefalopodi (*Orthoceras*); Artropodi terrestri (*Blatta*) e marini corazzati (*Eurypterus*) (fig. 137), fra cui specialmente i *Trilobiti*. Questi furono così chiamati per il corpo diviso in tre lobi e capace di essere arrotolato dall'animale a scopo di difesa. Se ne conoscono oltre 2000 specie (fig. 138) alcune lunghe fin 50-60 cm.; il torace era fornito di numerose zampe, di cui si servivano per strisciare; alcune specie viventi nelle acque profonde erano sprovviste di occhi, mentre altre, proprie delle acque basse, avevano occhi faccettati con 12 e fin 15 mila faccette.

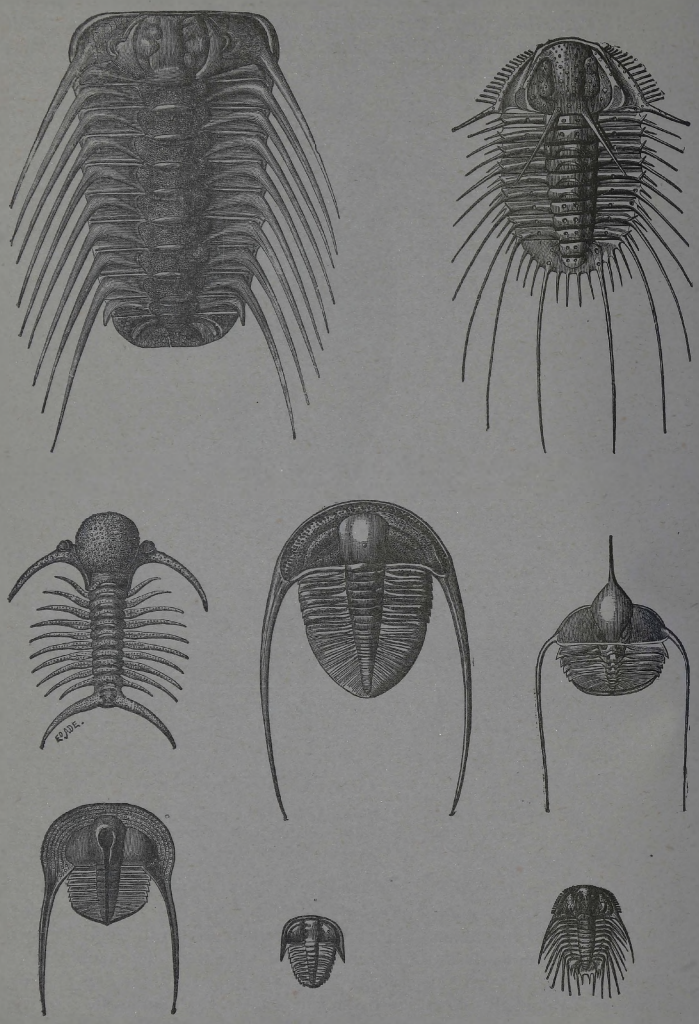

Fig. 138. — Trilobiti siluriani della Boemia (Barrande).

Le località indicate per il Cambriano valgono anche per il Siluriano, ma una menzione speciale merita la Boemia, ove il Barrande descrisse non meno di 4000 specie fossili.

In Italia si hanno formazioni siluriane nelle Alpi Carniche, all'isola d'Elba e specialmente in Sardegna, nell'Iglesiente e nel Sarrabus, con ar-

Fig. 139. — *Calceola sandalina*. Devoniano medio delle provincie renane. 1 e 3, coll'opercolo; 3. senza opercolo.

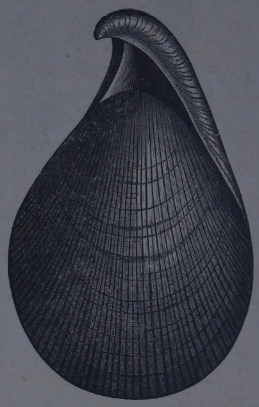

Fig. 140. *Uncites gryphus*, brachiopodo devoniano.

gilloschisti, arenarie e calcari a cui sono collegate non poche, importanti, formazioni metallifere.

3° Devoniano. — Il nome fu proposto nel 1839 da Murchison, dalla contea di Devon in Inghilterra.

Comprende *arenarie*, frequentemente colorate in rossastro da sesquiossido di ferro (donde in Inghilterra il nome di *old red sandstone*), *quarziti*, *argilloschisti* e *calcari*, con *diabasi* e *graniti*.

Vi esistono formazioni metallifere; così ferrifere a Kongsberg in Norvegia, Clausthal in Germania, ecc. e cuprifere nell'Harz, con il famoso giacimento di Rammelsberg.

Il clima continua uniforme; prevalgono sempre gli oceani, ma già si stabiliscono continenti con formazioni di acqua dolce, ove viveva l'*Anodonta*.

La *flora* comprende Alghe (*Fucoidi*) e Felci analoghe a quelle del periodo seguente (*Neuropteris, Sphaenopteris*) oltre ad Equiseti e Licopodi.

Da ricordare nella *fauna* sono: Coralli (*Calceola*) (fig. 139); Crinoidi (*Cupressocrinus, Eucaliptocrinus*); Brachiopodi (*Uncites* (fig. 140), *Spirifer, Pentamerus, Rynchonella*); Gasteropodi (*Loxonema, Pleurotomaria,*

Goniatites) (fig. 141); Crostacei corazzati (*Pterygotus* e *Trilobiti*, che vanno declinando rapidamente); Pesci corazzati, fra cui il *Cephalaspis* tra i Ganoidi e il *Ceratodus* tra i Dipnoi.

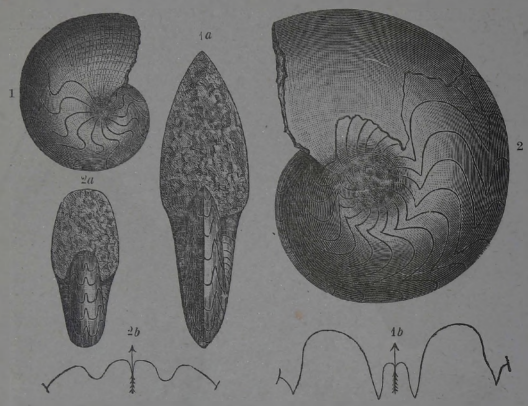

Fig. 141. — Goniatiti devoniane (dal Römer).
1, *Goniatites intumescens*. - 2, *Goniatites retrorsus*. — Nelle figure 1*a* e 2*a* i fossili sono veduti di fronte 1*b* e 2*b* rappresentano le suture.

Il Devoniano è sviluppato in Inghilterra, Francia, Spagna, Germania, Belgio, Africa Settentrionale e Meridionale, Cina, Siberia, Australia e America del Nord.

In Italia nella Carnia, con località molto fossilifere, e nella Sardegna.

4° Permo-carbonifero. — I due ultimi periodi dell'Era paleozoica, cioè il *Carbonifero*, così chiamato per il grande sviluppo in esso delle formazioni di carboni fossili, e *Permiano*, dal governo di Perm in Russia, vengono ora generalmente riuniti in uno solo, sotto il nome di *Permo-carbonifero*. Infatti il periodo Permiano è così strettamente collegato con il Carbonifero che è sovente impossibile segnare un limite tra le formazioni dell'uno e dell'altro, tanto più che nel Permiano sono molto scarse le forme organiche caratteristiche.

Il Permo-carbonifero segna una forte ripresa nei fenomeni orogenetici con conseguente emersione di continenti, con ri-

Fig. 142. — *Pecopteris dentata*.

lievi montuosi, specialmente nell'emisfero settentrionale; quindi oltre alle formazioni marine (con calcari d'origine organica, gesso e deposito saliferi),

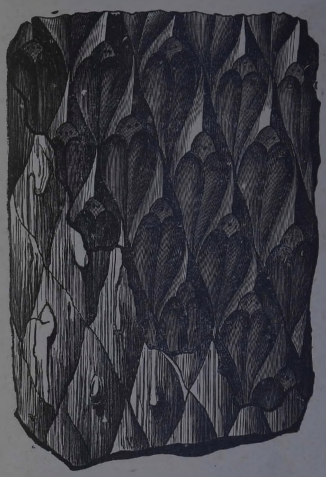

Fig. 143.
Fusto di *Lepidodendron Sternbergi*, parzialmente decorticato.

Fig. 144.
Parte di *Cordaites* restaurato, in dimensioni ridotte.

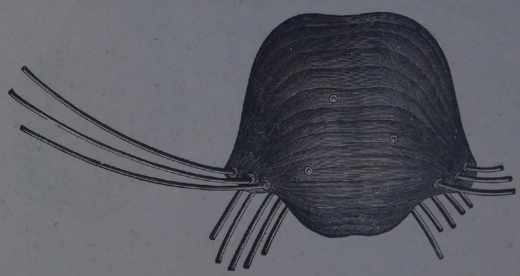

Fig. 145. — *Productus longispinus* del calcare carbonifero (Davidson).

altre se ne hanno di origine continentale, rappresentante essenzialmente dal litantrace e dall'antracite, del cui modo di formazione già ci siamo occupati a pag. 163 oltre a formazioni di maremme e di acque dolce.

Lo sviluppo continentale ebbe un forte contraccolpo sulla vita degli organismi marini, deprimendoli e facendone scomparire numerose specie;

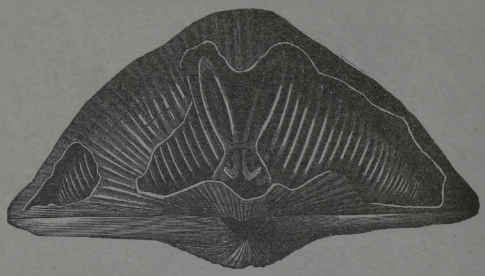

Fig. 146. — *Spirifer striatus* del calcare carbonifero colla valva ventrale spezzata per mostrare l'apparecchio brachiale (DAVIDSON).

d'un altro lato però permise lo sviluppo, enorme, straordinario, della flora (favorito dal clima ancora uniformemente caldo e umido), con la conseguenza molto importante di purificare l'atmosfera fin allora carica di vapor

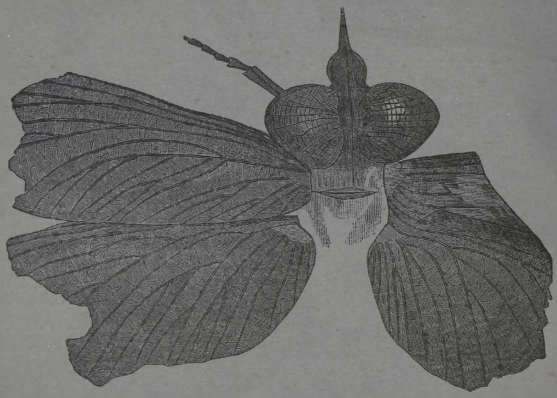

Fig. 147. — *Lithomantis carbonaria*, Neurottero del Carbonifero inglese.

acqueo e di anidride carbonica, che, fissata dai vegetali, venne poi immagazzinata nel terreno sotto forma appunto di litantrace e di antracite.

Le rocce che s'incontrano nel Permo-carbonifero sono, oltre ai *calcari* e *carboni* già menzionati, essenzialmente sedimentarie: *conglomerati, arenarie, argilloschisti* e *marne,* che rappresentano depositi sia di acqua dolce che di mare poco profondo. Nella parte superiore del periodo, corrispon-

dente al Permiano, si hanno però frequenti rocce eruttive, *graniti* e specialmente *porfidi*, con numerosi depositi metalliferi.

Fig. 148. — *Protophasma*, Ortottero del Carbonifero francese.

La *flora*, molto abbondante, comprende: Alghe, fra cui certe specie gelatinose (*Pila*, *Reinschia*, ecc.) dovettero svilupparsi straordinariamente nelle paludi, concorrendo alla formazione di carboni fossili grassi (*bogheads*).

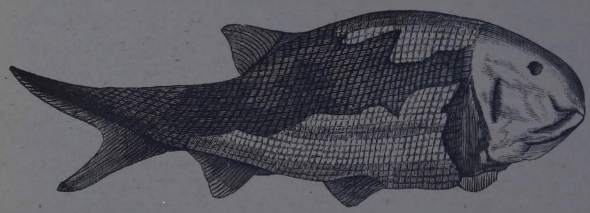

Fig. 149. — *Palaeoniscus* del Permiano.

Crittogame vascolari numerosissime e sovente di grande mole, come Felci arboree [*Pecopteris* (fig. 142), *Neuropteris*, *Odontopteris*]; Equiseti con forme arboree alte fin 20-30 metri (*Calamites*, *Annularia*) e Licopodi [*Lepidodendron* (fig. 143), con altezza di oltre 30 m. e diametro di 2 m., *Sigillaria*].

Fanerogame Gimnosperme, con Conifere [*Walchia*, araucariforme, *Cor-*

daites (fig. 144) sottili, alte fin 40 m. e che costituirono immense foreste]; Cicadee (*Archaeozamites, Plagiozamites*).

Nella *fauna* sono da ricordare Protozoi (*Fusulina*); Coralli (*Michelinia*, con costruzioni calcaree in forma di nido di vespe; *Chaetetes, Archimedipora*); Spugne calcaree; Crinoidi (*Palaechinus, Codonaster*); Brachiopodi [*Productus* (fig. 145), *Spirifer* (fig. 146)]; Bivalvi (*Posydonomia*); Cefalopodi (*Goniatites*); Crostacei (*Phillipsia*); Miriapodi; Insetti abbondanti, con Neurotteri (fig. 147) ed Ortotteri (fig. 148).

Fra i Vertebrati sono da menzionare i Pesci [*Palaeoniscus* (fig. 149)]; gli Anfibi corazzati da scaglie ossee, fra cui i *Labirintodonti*, forniti di denti conici posti sulle mascelle ed il palato, nei quali l'avorio è pieghettato con numerose circonvoluzioni in forma di labirinto (fig. 150); i Sauri, no-

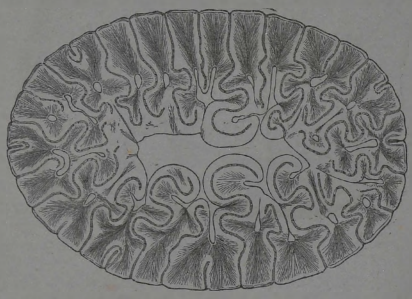

Fig. 150. — Sezione trasversale di un dente d'un grande stegocefalo (*Labirintodonte*) con struttura a circonvoluzioni.

tando infine che piccole forme di Mammiferi primitivi (*Karroomys*) furono trovati nella parte superiore del Permo-carbonifero dell'Africa Australe.

Il Permo-carbonifero è sviluppato in Inghilterra, Francia, Belgio e Germania con formazioni a *facies* marina, ma specialmente continentale con abbondanti depositi di carboni; in Russia con calcare marino a *Fusulina;* allo Spitzberg; in Cina (ove sembrano esistere grandi riserve di carboni fossili); agli Stati Uniti e, in generale, nell'America del Nord; in Australia (Queensland, Victoria); nell'Africa Meridionale s'incontrano poi arenarie permo-carbonifere e in qualche punto depositi di carbone.

In Italia, tranne pochi lembi ad antracite (Piccolo San Bernardo e bacino di La Thuille, in valle d'Aosta, Alpi Marittime, Toscana, ecc.), il Permo-carbonifero è essenzialmente rappresentato da calcari (Alpi Carniche), argilloschisti ed altri schisti carboniosi o a cristallinità più o meno profonda (Alpi Orientali, Occidentali, Marittime, Appennino Ligure, Toscana, Sardegna, qualche lembo della Sicilia). A tali schisti fu riferita la *appenninite*, roccia a tipo gneissico delle Alpi Marittime e dell'Appennino; si hanno pure arenarie e conglomerati, fra cui il cosidetto *Verrucano*,

speciale anagenite del monte Verruca in Toscana, che si ritrova potente in parecchi punti delle Alpi Marittime, delle Alpi Apuane, ecc.

c) Era Mesozoica o Secondaria.

Considerazioni generali. — All'Era paleozoica, chiusasi con intensi fenomeni orogenetici, segue un'êra di vera calma, la *Mesozoica* (da μέσος = *medio* e ζῶον = *animale*), la quale dalla potenza delle sue formazioni, che raggiungono 10.000 e forse più metri, si può arguire essere stata molto lunga, probabilmente di parecchi milioni di anni.

Se al principio del Mesozoico perdura ancora per alquanto tempo l'attività endogena, con eruzioni di diabasi, porfidi, sieniti, ecc., ed abbondanti formazioni metallifere, tale attività va però man mano estinguendosi e soltanto in alcuni momenti si ridesta qua e là il vulcanismo, i cui prodotti si possono dire identici agli attuali.

I rilievi continentali, sôrti specialmente nel Permo-carbonifero, tendono ad abbassarsi e vengono parzialmente distrutti; si ritorna ad un regime prevalentemente oceanico, per cui le rocce mesozoiche sono essenzialmente *calcari, dolomie, gesso, quarziti, arenarie* ed *argilloschisti,* con ben poche formazioni a *facies* lacustre o maremmana e meno ancora continentale.

La vita marina, che abbiamo vista depressa al finire del Paleozoico, prende un nuovo meraviglioso sviluppo, di cui ci sono, tra l'altro, testimoni i depositi straordinari di calcare organico, specialmente coralligeno, con formazioni atolliche potentissime.

Il clima si mantiene uniformemente mite, ma molto meno umido (anzi in alcun luoghi addirittura secco), e ciò perchè con il periodo Carbonifero l'atmosfera si è depurata ed è scomparso il velo nebuloso che durante il Paleozoico aveva funzionato da condensatore e regolare distributore del calore solare. Si osserva quindi una graduale differenziazione di zone climatiche ed un dividersi degli organismi in provincie, che si accentuano una volta più.

La fine del Mesozoico è nuovamente caratterizzata da intensi fenomeni orogenetici (*epoca di Laramie*), con emersioni continentali e relative catene montuose, specialmente in America (Ande, Montagne Rocciose, Alleghanys, ecc.), con grandi modificazioni faunistiche ed il solito accompagnamento di vulcanicità, distinzioni climateriche, accentuazione delle zone temperate e fors'anche glaciazione.

La flora, poco ricca, fu dapprima rappresentata esclusivamente da Felci, Cicadee e Conifere, con piante in generale di ambiente umido e che dovevano dare al paesaggio un aspetto molto uniforme e malinconico. In breve comparirono però numerose Monocotiledoni ed, infine, Dicotiledoni con tipi identici agli attuali.

Nella fauna, prevalentemente a *facies* marina, sono affatto caratteristici i numerosi Anfibi e Rettili, talora con dimensioni enormi, dei quali il Mesozoico si può dire il vero regno; alla fine dell'êra, con gli Uccelli, sono pure numerosi i Mammiferi, ancora quasi esclusivamente aplacentali.

Divisione dell'Era mesozoica. — L'Era mesozoica vien divisa in tre periodi: *Trias, Giura* e *Creta,* con interposizione fra il Trias ed il Giura di un periodo di transizione, il *Lias.*

Fig. 151.
Gyroporella.

1° Triasico o Trias. — Il *Trias,* durante il quale il clima continuò a mantenersi uniforme ed il regime essenzialmente oceanico con poche terre emerse, fu così chiamato, con nome proposto dall'Alberti nel 1831, per il fatto che nella Germania i suoi terreni sono nettamente divisibili in tre piani, e cioè (dal basso all'alto) *Bundsandstein,* con arenarie e quarziti; *Muschelkalk,* con calcari marini molto fossiliferi, e *Keuper,* caratterizzato da marne con qualche deposito carbonifero.

Questa divisione però se è possibile in Germania, diventa molto difficile ed anche impossibile in altri luoghi, ove manca persino interamente qualcuno dei piani; così, ad es., il Keuper nelle Alpi. Furono perciò dagli autori proposte ed adottate altre divisioni, in qualcuna delle quali i piani sono quattro anzichè tre.

Le formazioni del Trias comprendono essenzialmente *arenarie* (fra cui le cosidette *arenarie variegate* o *grès bigarrés* dei Francesi e la *nuova arenaria rossa*), *quarziti, calcari, calcari dolomitici, dolomie carniole, gesso, anidrite* e *marne,* tra le quali le cosidette *marne iridate.*

Appartengono pure al Trias importanti depositi di sale ed altri, metalliferi, con blenda e galena; specialmente poi nella parte inferiore, le cui formazioni fanno così graduale passaggio a quelle del Permiano che è sovente difficile il distinguerle, si hanno pure *Pietre verdi* e rocce eruttive con *porfidi* e *melafiri.*

Fig. 152.
Voltzia heterophylla. Trias inferiore.

Nella *flora* sono da ricordare le Alghe con il genere *Bactryllium* (probabile Diatomacea) e specialmente con il genere *Gyroporella* (fig. 151), i cui accumuli originarono importanti formazioni calcaree; le Felci e gli Equiseti (*Calamites*); le Conifere (*Voltzia,* fig. 152), le Cicadee (*Zamites*).

Nella *fauna* si riscontrano Polipai abbondanti; Echinodermi (*Encrinus liliiformis*) (fig. 153); Brachiopodi (*Retzia*); Lamellibranchi [*Megalodon,*

Halobia, *Gervillia* (fig. 154), *Avicula*]; Gasteropodi [*Turbo*, *Pleurotomaria*, *Ceratites* (fig. 155), *Ammonites*]; Pesci Ganoidi e Dipnoi (*Ceratodus*); Anfibi (*Labirintodonti*); numerosi e grandi Rettili [*Ittiosauri* (fig. 156), *Plesiosauri*, *Lariosauri*]; Mammiferi a tipo di Marsupiali con il genere *Didelphys* (fig. 157).

Le formazioni del Trias, oltrechè in Germania, siccome già si è indicato, sono sviluppate in Inghilterra, Austria, Svizzera, Francia; fuori d'Europa

Fig. 153.
Encrinus liliiformis.

Fig. 154. — *Gervillia socialis.*

Fig. 155. — *Ceratites nodosus* del Trias medio.

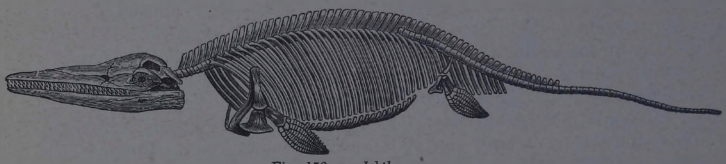

Fig. 156. — *Ichthyosaurus.*

bisogna ricordare, in America, gli Stati Uniti (Montagne Rocciose, Connecticut, California); in Asia, la Siberia, l'India, l'Afganistan, il Giappone; la Nuova Caledonia e la Nuova Zelanda; in Africa, finalmente il Trias è notevolmente esteso nella parte meridionale.

In Italia le formazioni triasiche sono ampiamente sviluppate nelle Alpi Orientali (Dolomiti) ed in Lombardia; nelle Alpi Piemontesi, Occidentali e Marittime; nell'Appennino Ligure; nelle Apuane, con i famosi calcari marmiferi di Massa e Carrara; in Toscana (Monte Pisano, Senese, ecc.),

ove una formazione caratteristica è quella dei *grezzoni*, calcari bigi, cavernosi; in Calabria; in Sicilia (Palermo e Girgenti) ed in Sardegna (Iglesias, Alghero).

Lias o liasico. — Con il nome di *Lias*, dal vocabolo *layer* usato dai minatori inglesi e che significa strato, si indica generalmente un periodo di transizione compreso fra il Trias ed il Giura.

Tale periodo fu ancora caratterizzato da clima uniformemente caldo e dalla prevalenza degli oceani, nei quali avvenne la costruzione di numerose formazioni atolliche. Per quanto poi i terreni del Lias non abbiano mai uno sviluppo molto potente, sono però importanti per la loro straordinaria ricchezza in fossili, specialmente marini.

Fig. 157. — *Didelphys Parisiensis*, di Parigi (Gaudry).

Le rocce sono *calcari* compatti e schistosi (più abbondanti), in prevalenza di color brunastro e più o meno magnesiferi e silicei; ai calcari si aggiungono *schisti argillosi* o *cristallini*, *marne* e più raramente *arenarie*.

La *flora*, poco ricca, corrisponde a quella del Trias.

Nella *fauna* si hanno numerosi Coralli costruttori; Echinodermi fissi e liberi; Brachiopodi; Gasteropodi con numerose *Ammoniti* e *Belemniti* (fig. 158) di cui molte affatto caratteristiche, dei terreni liasici; Lamellibranchi, con un vero pullulamento di *Ostreidi*, in particolare del genere *Gryphaea* (fig. 159); Insetti con *Coleotteri* ed *Imenotteri*, abbondanti in certi depositi dell'Inghilterra; Pesci con *Squalidi*, *Lepidostei* e rari *Ganoidi*; Rettili abbondanti con *Ittiosauri*, *Plesiosauri*, ecc.; fanno la loro prima apparizione i Sauri alati con i gen. *Dimorphodon*, *Dorygnathus*, ecc., e Mammiferi, insettivori ed erbivori, tutti ancora aplacentali.

I depositi liasici sono più particolarmente dell'Europa, incontrandosi in modo speciale in Inghilterra, Germania, Francia e Svizzera.

In Italia terreni liasici, essenzialmente calcarei schistosi, si hanno nel Lombardo-Veneto ed in parecchi punti dell'Appennino Centrale e Settentrionale; molti schisti cristallini (calceschisti, ecc.) della cosidetta *zona delle Pietre Verdi* nelle Alpi Occidentali vanno riferiti al Lias, come dimostra la presenza in essi di alcune Belemniti.

I terreni della parte inferiore del *Lias* si indicano generalmente con il

nome di *Infralias* o *Retico,* per quanto però molti Geologi, senza considerare a parte tale piano, lo colleghino semplicemente con il Trias superiore.

2° Giura o Giurese. — Il *periodo giurese* deve il suo nome al grande sviluppo che presenta nella catena del Giura.

In esso già si osserva un accenno a divisione di climi, però sempre prevalentemente caldi; infatti nell'emisfero nord la zona equatoriale doveva estendersi fin oltre il 55°. Il regime continua pure ad essere oceanico, il che spiega il grande sviluppo dei calcari di origine marina, dovuti special-

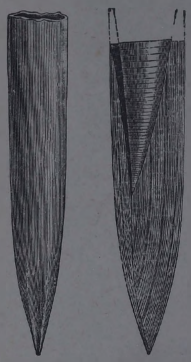

Fig. 158.
Belemnites Panderianus.
Giuraliassico.

Fig. 159.
Gryphaea arcuata del Lias superiore.

mente a Coralli costruttori; si accrescono però i continenti in via di sollevamento, donde la formazione di lagune e di paludi, ove vissero numerosissimi i Rettili, talora giganti, che caratterizzano questo periodo.

Le formazioni eruttive durante il Giura sono si può dire trascurabili, l'attività endogena essendo solo localmente rappresentata da eruzioni di *diabasi* e *porfidi;* poche sono pure le formazioni metallifere, con giacimenti stratificati di *limonite* e *siderite.* In Russia, Austria e poche altre località si hanno depositi di carbone fossile.

Le rocce sono essenzialmente *calcari,* fra i quali vanno ricordate le varietà litografiche; subordinatamente si hanno *marne* ed *argilloschisti.*

Sono caratteristiche della *flora,* ancora alquanto scarsa, le Felci, le Cicadee (*Zamites*), le Conifere (*Pinus, Ginko*) e le prime Monocotiledoni.

Nella *fauna,* abbondantissima, si notano Polipai, che con il loro esuberante sviluppo diedero molte formazioni atolliche; Spugne (*Scyphia*); Echinodermi [*Pentacrinus, Cidaris* (fig. 160)]; Brachiopodi (*Pygope*); Crostacei; Bivalvi [*Diceras, Gryphaea, Exogyra, Trigonia* (fig. 163), *Posidonomia*]; Gasteropodi con *Nerinaea, Pleurotomaria, Toxoceras, Belemnites* e specialmente *Ammonites* (fig. 162). Il Giura infatti si può dire il

regno di questi Cefalopodi (che ricordavano gli attuali Nautili), poichè di Ammoniti si hanno migliaia di forme distinte ed un numero straordinariamente grande di individui viventi in associazioni. Alcune specie raggiunsero notevoli dimensioni con diametro fin di 1 metro, toccando pure ad

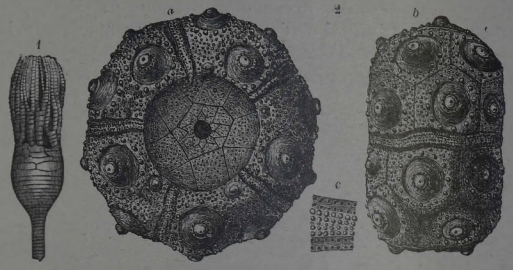

Fig. 160. — Echinodermi giuraliassici: 1, *Apiocrinus*; 2, *Cidaris coronata*. *a*, Visto di sopra. - *b*, Visto lateralmente. - *c*, Area ambulacrale.

un vero gigantismo, come nel *Pachydiscus seppcradensis*, del diametro di metri 2,50 ed una circonferenza di 7 metri.

Fra i Vertebrati vanno ricordati i primi Pesci Teleostei; i Rettili volanti o *Pterodattili* (fig. 163); i Dinosauri, di cui qualche specie come

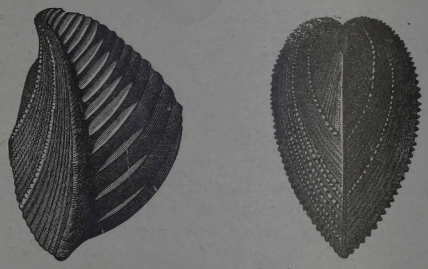

Fig. 161. — *Trigonia costata* dell'infragiurassico.

l'*Atlantosaurus* raggiunse la lunghezza straordinaria di fin 40 m.!, Ittiosauri, Plesiosauri, Teleosauri, Cocodrilli viventi in alto mare. Il gen. *Archaeopteryx* ed altri affini segnano la comparsa degli Uccelli, aventi però forti analogie con i Rettili ed i Mammiferi primitivi (fig. 164); fra i Mammiferi si incontrano specialmente *Marsupiali*.

Il Giura raggiunge in Francia uno sviluppo molto grande; così pure in Germania, ove sono da ricordare i famosi calcari litografici di Solenhofen nella Baviera, con resti di Uccelli; formazioni giurassiche si hanno pure in Inghilterra, Svizzera, Austria, Russia, penisola dei Balcani, ecc.

Nell'America Settentrionale terreni del Giura ricchi in fossili esistono

agli Stati Uniti (Montagne Rocciose, Nevada), al Messico e nella Columbia Britannica; nella Meridionale, al Perù, Bolivia, Cile.

In Asia nella Siberia, Giappone, India, Asia Minore.

Nella Nuova Zelanda ed in Africa lungo le coste orientali equatoriali.

Nell'Italia le formazioni giuresi sono sviluppate lungo tutta la penisola, dando in molti punti marmi preziosi.

Ricordiamo le valli del Piave, del Brenta e dell'Astico nel Veneto; la regione settentrionale ed orientale del Lago di Garda con la bassa valle

Fig. 162. — 1, *Parkinsonia Parkinsoni* del Dogger. - 2, *Perisphinctes Tiziani* del sopragiurassico. - 3, *Stephanoceras Humphresianum* dell'infragiurassico. - 4, *Peltoceras atleta* del sopragiurassico.

dell'Adige; le prealpi lombarde; molte località delle Alpi Occidentali e Marittime; i dintorni della Spezia, la Toscana, le Marche, l'Umbria, l'Abruzzo, le Puglie e la Calabria.

In Sicilia il Giura affiora al Monte Pellegrino presso Palermo e al San Giuliano presso Trapani; in Sardegna nell'Algherese e nella Nurra.

3° Cretaceo. — Il nome di *Cretaceo* proviene dall'abbondante sviluppo in questo periodo di caratteristici calcari, bianchi, terrosi, indicati con il nome di *Creta*, la *craie* dei Francesi. Questi calcari, di origine

marina, risultano essenzialmente dall'accumulo delle spoglie di Foraminiferi o di detriti di Polipai inquinati o riempiti in molti casi dall'idrosilicato di alluminio e potassio conosciuto con il nome di *glauconite,* come pure contenenti sovente noduli di fosfato di calcio (fig. 165).

Durante il Cretaceo già si assiste ad un evidente differenziamento dei climi; il regime si mantiene in generale oceanico, tranquillo, per quanto non manchino, come agli Stati Uniti, importanti formazioni a *facies* continentale.

Fig. 163. — Pterosauri: 1, *Ramphorhyncus* restaurato; 2, Scheletro di *Pterodactylus* degli schisti litografici.

Le rocce eruttive sono scarse nel Cretaceo, per cui è da ritenersi che i fenomeni endogeni non vi ebbero grande importanza, mentre li vedremo ridestarsi con intensità al principio dell'èra seguente; mancano veri depositi metalliferi, ma non vanno dimenticate le abbondanti *fosforiti* e gli importanti ossidi idrati di alluminio (*beauxite,* ecc.), i cui giacimenti dell'Istria e della Francia meridionale stanno appunto nel Cretaceo. Di questo periodo si hanno pure depositi carboniferi in parecchie località della Germania, in Siberia ed agli Stati Uniti.

Le rocce del Cretaceo sono in prevalenza *calcari,* fra i quali ricordiamo per l'Italia le varietà compatte *biancone* e *scaglia* del Veneto; in Lombardia la *maiolica,* marmo di aspetto ceroide; i *calcari alberesi,* di color grigio, ecc. Ai calcari si associano *arenarie* (*Pietra forte* della Toscana), *argilloschisti* e *quarziti.* Al Cretaceo Superiore si usa pure riferire l'importante formazione delle *Argille scagliose* dell'Appennino, che molti

autori però ascrivono all'Eocene, cioè al principio dell'Era terziaria; a queste argille sono connesse formazioni di *rocce serpentinose* e *diabasiche*.

La *flora* comprende Cicadee, Conifere (*Sequoia, Salisburia, Pinus, Cedrus*), Palme, e vi è caratteristica la comparsa delle Dicotiledoni, fra

Fig. 164. — *Archaeopteryx lithographica* degli schisti litografici di Eichstädt (esemplare del Museo di Berlino).

cui sono da ricordare *Magnolia, Hedera, Platanus, Ficus, Populus, Salix, Quercus, Acer*, ecc.

La *fauna* è rappresentata dai Protozoi (*Globigerina, Orbitolina*, ecc.), dai Polipai, Spugne, Echinodermi (*Toxaster, Micraster, Ananchytes*) (fig. 166). Abbondano i Molluschi; Bivalvi: *Ostrea, Inocerami* (fig. 167),

e particolarmente *Rudiste,* fra cui le caratteristiche *Ippuriti* (fig. 168), alcune delle quali raggiunsero l'altezza di un metro; Gasteropodi: *Rostellaria, Nerinaea, Actaconella* (fig. 169); Cefalopodi: *Belemnitella, Turrilites* (fig. 170), *Hamites* (fig. 171), *Ancyloceras, Baculites* e *Ammonites;* in queste ultime, che vanno scomparendo, è notevole la tendenza allo svolgimento delle spire. Fra i Vertebrati sono abbondanti i Pesci; i Rettili:

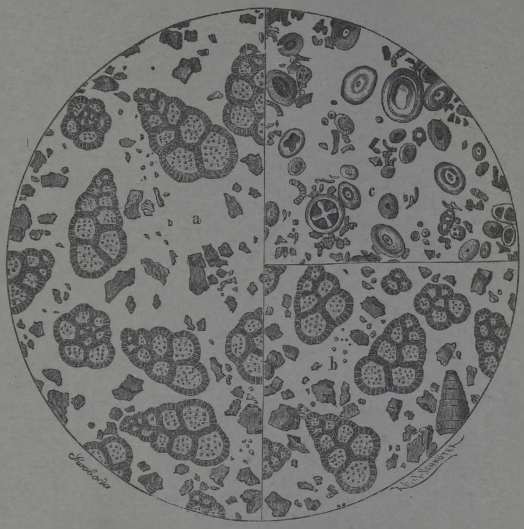

Fig. 165. — Residuo di lavatura della creta bianca.

A destra inferiormente, residuo di lavatura di creta del deserto Libico (ingr. 150 diametri). A destra superiormente, deposito disseccato di lavatura della creta di Russia (ingr. 1200 diam.). A sinistra, residuo di lavatura della creta del Sussex.

Dinosauri (*Iguanodonti*), *Ittiosauri, Pterodattili;* numerosi Uccelli dentati: *Ichtyornis* (fig. 172), *Hesperornis;* Mammiferi a tipo di *Monotremi* e *Marsupiali.*

In Europa il Cretaceo è tipicamente sviluppato in Francia ed in particolar modo nel bacino di Parigi, ove abbondano i calcari bianchi, terrosi o compatti ricchissimi in fossili ed in noduli di selce; lo si ritrova in Inghilterra, Belgio, Germania, Austria, Russia e all'isola di Candia.

Fuori d'Europa si hanno terreni cretacei in Asia: Arabia, Persia, Palestina, Afganistan, Imalaia, Tibet, India, quivi con estese formazioni eruttive a tipo basaltico; in Australia; nell'Africa Settentrionale e Occidentale e nell'America Settentrionale. Negli Stati Uniti (Utah, Wyoming e Colorado) si sviluppano abbondantemente le formazioni continen-

tali della cosidetta *epoca di Laramie*, con lignite e abbondanti fossili di Vertebrati, fra cui numerosi Mammiferi.

In Italia i terreni del Cretaceo accompagnano, però con sviluppo limitato, le formazioni del Giura e del Lias nel Lombardo-Veneto; sono molto

Fig. 166. — *Ananchytes ovatus* del Cretaceo superiore.

estesi nelle Alpi Marittime ed abbondano lungo tutto l'Appennino, con affioramenti serpentinosi nel Piacentino, Modenese e Bolognese. Tali serpentini rappresentano probabilmente il prodotto di eruzioni sottomarine.

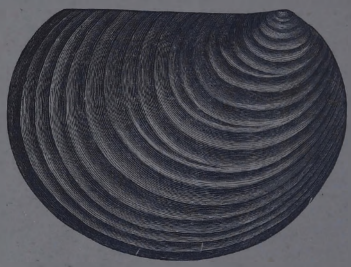

Fig. 167. — *Inoceramus concentricus* del Cretaceo superiore.

Abbastanza sviluppato in Sardegna, il Cretaceo lo è scarsamente in Sicilia.

d) Era Cenozoica o Terziaria.

Considerazioni generali. — Al regime essenzialmente oceanico che caratterizzò l'Era mesozoica, succede con l'Era cenozoica (1) un regime nettamente continentale, il quale portò una vera rivoluzione non solo nelle

(1) Da αικνός = *recente*, e ζῶον = *animale*.

condizioni oro-idrografiche della Terra, ma anche in quelle climateriche e biologiche.

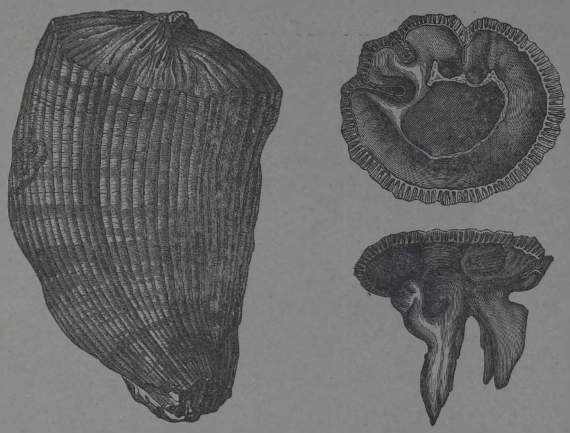

Fig. 168. — Rudiste: 1. *Hippurites cornuvaccinum*, le due valve. - 2, *Hippurites radiosus*, valva superiore veduta dalla parte interna. - 3, Valva superiore della stessa specie veduta di profilo.

Gli intensi fenomeni orogenici, già iniziatisi alla fine del Secondario, si fecero molto più accentuati in principio del Cenozoico, per cui, oltre al-

Fig. 169. — *Actaeonella* del Cretaceo superiore.
1, Esemplare integro. - 2, Esemplare segato lungitudinalmente.

l'estendersi dei continenti, essi provocarono la formazione di grandiose catene montuose, sollevate fin quasi a 9000 metri. Tale potentissimo sollevamento si manifestò a diverse riprese, il che ci spiega come siano state

portate fin a 6000 metri le prime formazioni dell'Era; i Pirenei, le Alpi, il Caucaso, l'Imalaia, che non erano se non modesti rilievi, furono così portati a grandissima altezza.

Gli ampi continenti, nei quali regioni depresse, paludose, favorivano la produzione di speciali formazioni carbonifere, di cui ci sono testimoni i depositi di *lignite*, permisero uno sviluppo rigoglioso di una flora costituita in prevalenza da Fanerogame, Dicotiledoni, e, nella fauna, un espandersi

Fig. 170. — *Turrilites* della creta.

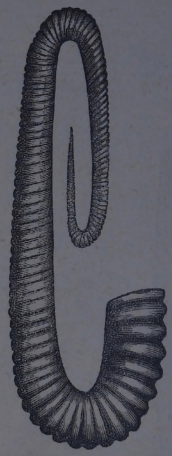

Fig. 171. — *Hamites* della creta.

straordinario degli organismi terrestri, specialmente Mammiferi, mentre i veri Uccelli prendevano possesso dell'aria.

I Mammiferi, autotermi, meglio adatti al nuovo ambiente, non tardarono a far concorrenza vittoriosa ai grandi Rettili, di cui il Mesozoico era stato il regno incontrastato, e questi scompariscono rapidamente e totalmente, anche per le mutate condizioni mesologiche diventate loro sfavorevoli, come succede pure per le forme di Molluschi già abbondanti, quali Ammoniti, Rudiste, Inocerami.

Contemporaneamente i continenti, variamente collegati per mezzo di istmi, permisero estese migrazioni della fauna, la quale non tardò a costituirsi in provincie zoologiche sempre meglio distinte.

I grandi fenomeni orogenici non poterono essere scompagnati da fratturazioni e terremoti potenti, come anche da un ridestarsi dell'attività vulcanica, i cui abbondanti prodotti corrispondono, con basalti, trachiti, tufi, ecc., si può dire esattamente agli attuali.

Anche i climi subirono modificazioni profonde con un generale abbas-

samento graduale della temperatura; ciò portò all'estendersi delle zone temperate a detrimento delle tropicali e ad una maggiore, vera, differenziazione di stagioni. Le alte catene montuose si ricoprirono di neve e di ghiacciai, preludiando così al grandioso fenomeno glaciale con cui si aprirà l'Era seguente, per quanto non sia improbabile che, già nel corso del Cenozoico, si siano avuti periodi glaciali più o meno estesi.

Benchè meno lunga delle precedenti, l'Era terziaria ebbe una durata

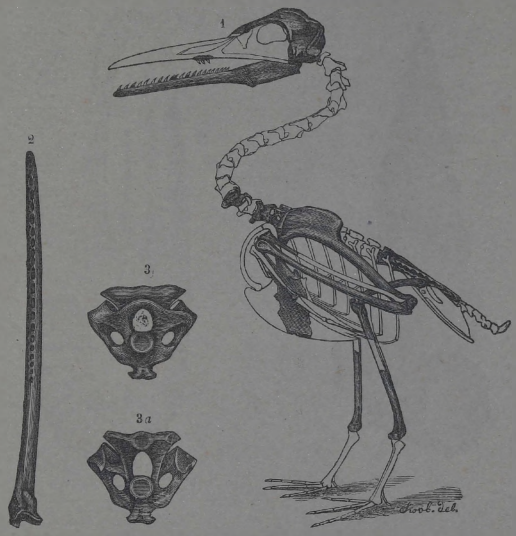

Fig. 172. — *Ichtyornis*, uccello della formazione cretacea americana.
1, Scheletro restaurato. - 2, Mandibola cogli alveoli dei denti. - 3, 3*a*, Vertebre.

che si può ritenere non inferiore a due milioni d'anni, le sue formazioni raggiungendo nel complesso una potenza di circa 10 mila metri.

Divisione del Cenozoico. — L'Era cenozoica si usa dividere in quattro periodi: *Eocene, Oligocene, Miocene* e *Pliocene,* avvertendo che parecchi autori non considerano a parte il periodo oligocenico, ascritto semplicemente al Miocene inferiore.

1° Periodo eocenico. — Il nome di *Eocene,* proposto da Lyell, proviene da ἕως, *aurora,* e καινός, *recente,* per indicare come pochi vi siano ancora gli organismi tuttora viventi.

Nell'Eocene i fenomeni orogenici accentuano l'emersione dei continenti, con un forte sollevamento delle montagne, per cui le condizioni geografiche già si avvicinano molto alle attuali; un grande Mare Mediterraneo,

molto più irregolare e vasto dell'attuale, si estende dall'Atlantico ai Mari orientali, con numerosi e varii arcipelaghi marginali ed interni.

La climatologia si fa più distinta e differenziata, per quanto l'Europa goda ancora di un clima uniformemente temperato, con inverno quasi nullo, e vi prosperino palmizi, talora a tipo africano, il che può fare ritenere una media temperatura annua di circa 25°.

Le formazioni eoceniche, in parte marine ed in parte continentali, sono rappresentate da *argille* (1), *arenarie, calcari, calcari marnosi* e *marne,* con intercalazioni di banchi di *lignite.*

Le abbondanti formazioni vulcaniche, conseguenza della ridestata attività endogena, sono rappresentate da *basalti, trachiti* e *tufi* e localmente forse anche da *graniti.*

Nella *flora* cessa il regno delle Gimnosperme per iniziarsi quello delle Angiosperme (che durerà per tutto il Terziario) con numerose Palme (fra cui *Phaenix dactilifera*) e alberi a foglie persistenti o caduche (*Laurus, Sassafras, Dracaena, Acacia, Iuglans, Eucalyptus, Magnolia,* ecc.); numerose pure le Alghe, fra cui i *Lithothamnium,* che sono Floridee aventi le pareti delle loro cellule incrostate da calcare.

Del resto le varie flore eoceniche sono affini alle attuali tropicali e subtropicali, ma a poco a poco migrate dalle regioni circumpolari verso le equatoriali.

Nella *fauna* è caratteristica l'estinzione improvvisa delle Ammoniti, Belemniti ed altre forme prima abbondanti e caratteristiche, così pure dei Rettili marini e dei grandi Rettili in generale, mentre i Mammiferi incominciano a prendere veramente possesso della Terra.

Vanno ricordati fra i Protozoari i generi *Orbitoides, Orthophragmina, Lepidocyclina, Miogypsina* e specialmente *Nummulites;* questo Foraminifero, affatto caratteristico dell'Eocene, ebbe uno sviluppo straordinario e numerosi suoi individui toccarono il gigantismo, per cui forme, ordinariamente microscopiche, arrivarono al diametro di 5-6 cm. L'accumulo delle spoglie di Nummuliti ha originato potenti formazioni calcaree (*calcari a Nummuliti*).

Comuni sono ancora i Corallari, che cominciano però la loro migrazione verso le regioni tropicali, come pure gli Echinodermi (*Echinolampas, Clypeaster, Cidaris,* ecc.); i Briozoari e i Brachiopodi (*Terebratula,* ecc.), di cui alcuni conservatisi fino ai giorni nostri. Abbondanti i Molluschi: Gasteropodi (*Helix, Cerithium, Voluta, Physa, Melania, Fusus, Rostellaria, Turritella, Natica,* ecc.); Cefalopodi (*Belosepia, Nautilus*) ed i Lamellibranchi (*Ostrea, Pecten, Unio, Cardium, Crassatella, Cardita, Cytherea, Lucina,* ecc.).

Tra i Vertebrati si hanno Pesci: Dipnoi, Ganoidi e specialmente Squa-

---

(1) Con il nome di *Flysch* si indicano certe formazioni scarsamente fossilifere, rappresentate da arenarie, calcari marnosi e specialmente argille con impronte forse di Alghe (Fucoidi), potentemente sviluppate in certe regioni alpine, nella Liguria, ecc. Per quanto il *Flysch* sia normalmente ascritto all'Eocene, non è improbabile che i suoi terreni debbano in parte esser riferiti a periodi diversi più antichi e più recenti.

lidi (*Lamia, Odontaspis, Carcharodon*, ecc.; Coccodrilli (*Crocodilus*). Sauri, Cheloni (*Chelone, Emys*); Uccelli corridori e carinati (*Dasornis Megalornis, Gastornis*, ecc.).

Numerosi sono i Mammiferi: Aplacentali, Marsupiali (*Didelphys*) (V. fig. 157 pag. 260), e Placentali, Pachidermi (*Palaeotherium*) (fig. 173); Equidi (*Hyracotherium, Orohippus*), pochi Ruminanti (*Xiphodon*) e pochi Carnivori, Chirotteri (*Vespertilio*), Quadrumani (*Adapis, Pachynolophus, Cebochaerus*, ecc).

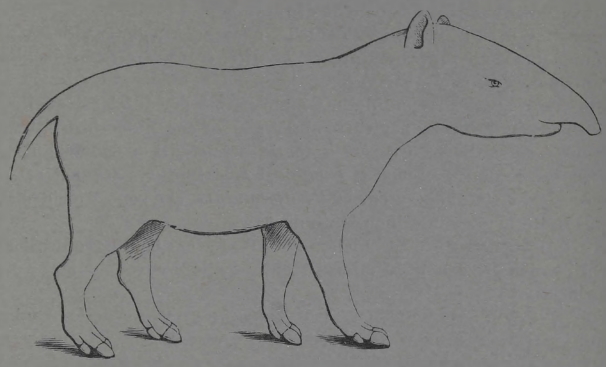

Fig. 175. — *Palaeotherium magnum*, ricostituito nella forma supposta (Cuvier).

L'Eocene è ampiamente sviluppato in Europa: così per la Francia nel bacino di Parigi; in Inghilterra, nel bacino di Londra; nella catena del Giura ed in quella dei Vosgi; in Germania, in Svizzera, nell'Austria. Pure ben sviluppato nell'Asia raggiungendo i 6000 m. nell'Imalaia; nell'America Settentrionale e Meridionale; nella Nuova Zelanda ed in Africa al Madagascar ed in Egitto, ove i calcari nummulitici servirono alla costruzione delle Piramidi. Non mancano infine formazioni eoceniche nelle regioni nordiche (Groenlandia, Spitzberg, ecc.).

In Italia l'Eocene è sviluppato in Piemonte, così nei Colli Torinesi (ove è rinomato il calcare nummulitico di Gassino) e nella Valle della Scrivia; nelle Alpi Marittime (Valle del Varo, della Roia, della Stura, ecc.); nella Liguria sia orientale che occidentale; nel Veneto, nel Veronese, nel Vicentino con formazioni basaltiche nei Monti Berici e calcari ricchi in pesci e avanzi vegetali ai Monti Balca e Postale; nelle Alpi Apuane; nell'Appennino settentrionale; nella Toscana, ove è dell'Eocene l'arenaria detta *Macigno* e vi sono riferiti i depositi cinabriferi del Monte Amiata; nel Napoletano; nell'Abruzzo, nella Calabria, in Sicilia ed in Sardegna.

2° Periodo oligocenico. — Nome da ὀλίγος, *poco numeroso*, e καινός, *recente*.

Durante il periodo oligocenico continuano i fenomeni di vulcanismo e

di sollevamento iniziatisi nel periodo precedente, accentuandosi sempre più il continentalismo e l'estensione delle formazioni fluvio-palustri con abbondanti depositi di lignite. Una flora rigogliosa e ricchissima si va sviluppando sulla sempre più ampia platea continentale, mentre continua nella fauna il moltiplicarsi rapido e svariato dei Mammiferi. Delle specie oligoceniche si può ritenere che il 10 a 15 % siano tuttora viventi.

Il clima si mantiene quasi uniforme, pure con tendenza a diminuzione nella temperatura; l'Europa gode quindi ancora di un clima subtropicale. però umido, con una media temperatura annua che si può ritenere di 18°-20°, la quale permise alle Palme di spingersi fin al 50° parallelo.

Le formazioni oligoceniche, tra le quali prevalgono le continentali, sono rappresentate da *conglomerati, arenarie* (di cui parecchie forniscono buone pietre da costruzione e da macina), *calcari, gessi, bitumi* e *fosforiti.*

Frequentemente i depositi oligocenici (come già quelli eocenici) presentano un color rossastro o meno accentuato, dovuto ad inquinazione di limonite (*terreno siderolitico*).

Nella *flora* (1) in cui sono abbondanti le specie vegetali a foglie caduche, in rapporto con le condizioni climateriche modificate, vanno ricordate: Alghe (*Chara*), Felci (*Osmunda*), Conifere (*Sequoia, Taxodium, Glyptostrobus. Libocedrus* e *Pinus succinifer,* la cui resina diede origine all'ambra), e numerose Monocotiledoni e Dicotiledoni: Palme (*Sabal, Flabellaria, Phaenicites*), *Laurus, Ficus, Mimosa, Cinnamomum, Nymphaea, Alnus, Acer, Betula, Carpinus, Quercus, Ulmus,* ecc.

Nella *fauna* menzioneremo tra i Protozoari i generi *Amphistegina, Orbitoides* e *Nummulites,* il quale ultimo però va rapidamente diminuendo e scomparendo: Corallari; Spugne; Echinodermi (*Scutella, Echinolampas, Crenaster, Echinocyamus*); pochi Brachiopodi; Insetti, di cui molte specie perfettamente conservate nell'ambra; fra i Molluschi, pochi Cefalopodi, ma abbondantissimi Gasteropodi (*Melania, Deshayesia, Ampullaria, Natica, Turritella, Delphinula, Potamides, Cerithium, Chaenopus, Cassis, Pleurotoma, Pyrula, Voluta*) e Lamellibranchi (*Cithaera, Panopaea, Cardita, Cyprina, Pectunculus, Cardium, Corbulamya, Cyrena, Lucina, Pholadomya, Corbula, Ostraea, Crassatella,* ecc.); fra i Vertebrati Pesci; Sauri; Coccodrilli; Cheloni e Mammiferi: Pachidermi (*Rinoceros, Palaeotherium, Tapirus, Anoplotherium, Anthracotherium, Palaeocherus*); Solipedi (*Xiphodon*); Insettivori (*Plesiosorex*); Chirotteri (*Rhinolophus*); Lemuridi (*Necrolemur, Adapis*).

Fra le località d'Europa ove i terreni oligocenici sono ampiamente sviluppati dobbiamo ricordare la Germania settentrionale e centrale, il Belgio, ove una località, Tongre, ha dato il nome ad uno de' piani (*Tongriano*) in cui si suddivide il periodo, e in Francia, Fontainebleau, ove le formazioni oligoceniche sono rappresentate da sabbie eminentemente silicee.

---

(1) Fra i fossili oligocenici vanno ricordate numerose impronte in parte riferibili al passaggio di vermi, altre di natura incerta, quali: *Zoophycos, Helminthopsis, Taphraelminthapsis, Helminthoidea, Urohelminthoida, Palaeodictyon, Nemertilites, Nulliporites,* ecc.

In Italia l'Oligocene è sviluppato nel Veronese, nei colli Vicentini e specialmente nell'Appennino Ligure, ove sono rinomate le località di Sassello, Santa Giustina e specialmente Cadibona (presso Savona) con formazioni di ligniti antracitose, che si ritrovano pure nella Valle Tanaro delle Alpi Marittime.

3° Periodo miocenico. — Nome da μείων, *meno* e καινός, *recente*.

Continuando i fenomeni orogenici si hanno durante il Miocene cambiamenti geografici che avvicinano sempre più i continenti alla loro fisionomia attuale, mentre un'ulteriore spinta si verifica, a differenti riprese, nelle catene montuose che vengono portate al loro massimo sollevamento; il fatto si dovette verificare per le Alpi, i Pirenei, l'Imalaia, ecc.

Intanto perdura l'attività endogena che si fa intensa in molte regioni dell'Italia, in Francia (dando origine ai vulcani dell'Alvernia), nell'Ungheria, Scozia, Stati Uniti, ecc., lasciando crateri, che possono conservare ancora intatta la loro forma, con basalti, trachiti, lipariti, fonoliti, andesiti, tufi, ecc.

Alcuni mari ampi, ma poco profondi, ancora esistenti, tendono a prosciugarsi, dando origine a giacimenti importanti di gesso e salgemma, quale ad esempio quello di Wieliczka in Polonia.

Il clima diventa sempre meno caldo ed uniforme con forti differenze locali e precipitazioni copiose, che si risolvono in neve sulle montagne e nelle regioni polari; nell'Europa si ha nell'insieme un clima ancora subtropicale con temperatura oscillante fra 15° e 20°, per quanto sia evidente il raffreddamento nelle regioni nordiche, non essendo più la temperatura che di circa 8° allo Spitzberg e 10° in Groenlandia, ove prosperavano flore e faune equivalenti a quelle che ora si trovano a 20° e 30° più a sud.

Nella flora, date le condizioni climateriche, predominano le piante a foglie caduche; nella fauna sono sempre più numerosi i Mammiferi.

Delle specie mioceniche si può dire che il 25% sono ancora viventi.

Oltre alle rocce vulcaniche sopra indicate, le formazioni mioceniche sono rappresentate da *calcari, conglomerati, breccie, arenarie* (alcune adoperate come materiale da costruzione), *ghiaie, marne*.

Si hanno pure frequenti depositi di minerali utili, quali solfo, salgemma, gesso, petrolio, lignite e ambra.

Nella *flora* dobbiamo ricordare i *Lithothamnium*, alghe incrostanti che diedero origine a formazioni calcaree; Conifere (*Sequoia, Taxodium, Glyptostrobus*); Palme (*Sabal*); molte Graminacee; numerose piante arboree ed arbustacee, per lo più a foglie caduche: *Laurus, Camphora, Quercus, Myrica, Cinnamomum, Ficus, Acacia, Cassia, Carya, Ulmus*.

La *fauna* comprende abbondanti Protozoari con Foraminifere, che originarono calcari, e Radiolari a cui sono dovute formazioni di *tripoli*, e di diaspri; Corallari; Echinodermi (*Clypeaster, Schizaster, Scutella, Echinolampas*, ecc.); Vermi (*Serpula*); Briozoari (*Eschara, Meandropora, Radiopora, Cellepora, Terebratulina*); Molluschi, con Pteropodi (*Balantium, Cuvieria*): Cefalopodi (*Nautilus*); Gasteropodi (*Trochus, Cassis, Conus, Cerithium, Turritella, Fusus, Pleurotoma, Murex, Nassa, Natica, Ancillaria,*

Helix, Cyprea, Voluta, ecc.); Lamellibranchi (*Ostrea, Lima, Pecten, Arca, Cardita, Venus,* ecc.); Insetti (*Libellula*).

Tra i Vertebrati abbondano i Pesci (Squalidi); gli Uccelli ed i Mammiferi: Marsupiali; Cetacei (*Squalodon, Halitherium*); Pachidermi (*Rhinoceros, Acerotherium, Sus, Hyotherium, Paleochaerus*); Solipedi (*Hipparion, Anchotherium*); Ungulati (*Brontotherium*); Proboscidati (*Mastodon, Dinotherium*); Sdentati (*Macrotherium, Ancylotherium*); Roditori (*Cricetodon, Talpa, Plesiosorex*); Carnivori (*Hyena, Hyenarctos*); Quadrumani (*Mesopithecus, Oreopithecus, Pliopithecus, Dryopithecus*).

In Europa il Miocene è ampiamente sviluppato in Francia: bacino della Senna, della Loira, della Garonna e del Rodano; in Bretagna e Normandia, ove si hanno importanti depositi di fosforiti, e nell'Alvernia con la formazione vulcanica dei Puys. Poco sviluppato in Belgio ed in Inghilterra ed in generale nell'Europa Settentrionale, si ritrova in Germania con ligniti nella Sassonia, Turingia, Silesia, ecc., e con ambra abbondante sulle coste del Baltico; in Svizzera; in Austria, con i rinomati calcari della Leitha, ricchi in fossili marini; in Grecia, ove sono classici per i Mammiferi i giacimenti di Pichermi e di Samos. Formazioni mioceniche ricche in avanzi di Mammiferi si hanno pure nell'India (bacino del Gange) e nell'America Settentrionale (Missouri, Oregon, California).

In Italia il Miocene ha uno sviluppo tipicamente regolare nella valle della Scrivia tra la Liguria ed il Piemonte; in quest'ultima regione sono pure notevoli le formazioni mioceniche delle colline di Torino, dell'Astigiano e delle Langhe. Terreni miocenici esistono pure nel Vicentino, nell'Appennino settentrionale e centrale; in Toscana con abbondanti ligniti; in Basilicata, Calabria, Sardegna, Sicilia. Quivi il Miocene assume importanza particolare con la *formazione gesso-solfifera,* la quale, partendo dal Piemonte, si prosegue attraverso all'Appennino fino a raggiungere appunto il suo massimo in Sicilia.

4° Periodo pliocenico. — Nome da πλείων, *più,* e καινός, *recente;* esso viene anche detto *Subappenninico* per il suo tipico sviluppo nella regione subappenninica.

Durante il Pliocene perdurano essenzialmente le condizioni indicate per il Miocene; però verso la fine del periodo si verifica un forte sollevamento, per cui, ad esempio, nelle Alpi le formazioni del Pliocene s'incontrano localmente sopra i 500 metri e nelle Marche (Ascoli-Piceno) i terreni subappenninici stanno a 1000 e più metri.

La configurazione generale dei continenti è nell'insieme corrispondente all'attuale, ma vi sono molti golfi marini che si vanno ricolmando; così la valle padana, quella del Rodano, ecc. Analogamente esistono molti laghi entroappenninici: Val d'Arno, Mugello, ecc.

A differenza di quanto si è detto per il Miocene, durante il Pliocene furono scarse le manifestazioni vulcaniche e le formazioni sono essenzialmente, nella parte inferiore, *marne* ed *argille,* più tardi *sabbie* e *calcari,* per arrivare nella parte superiore a depositi grossolani di *conglomerati* deltoidi con banchi di lignite.

Il clima, per quanto ancora relativamente mite, pure già presenta stagioni distinte, donde il prevalere nella flora delle piante a foglie caduche; sembra probabile che alla fine dell'Era si avesse inizio del fenomeno glaciale, che vedremo caratterizzare l'aprirsi dell'Era quaternaria seguente.

La *flora* pliocenica è, si può dire, quella attuale, con una mescolanza di specie vegetali dei climi temperati, in parte asiatiche ed in parte americane.

La *fauna* comprende circa il 60 % delle specie attuali; va ricordato però lo straordinario sviluppo dei Molluschi Gasteropodi e Bivalvi, i cui resti sono conservati abbondantissimamente nei terreni subappenninici.

Verso la fine del periodo vivono nelle regioni deltoidi di tutta l'Europa meridionale numerosi Mastodonti, Elefanti, Rinoceronti, Ippopotami e Cervidi.

Il Pliocene è specialmente sviluppato nell'Europa meridionale ed in generale lungo tutte le insenature dei continenti.

In Italia costituisce una grande fascia subappenninica ed è famoso per la ricchezza in fossili; così nell'Astigiano, nel Piacentino, ecc. Formazioni plioceniche di qualche importanza esistono pure in Toscana e nella Sicilia.

e) Era Antropozoica o Quaternaria.

L'*Era antropozoica* fu così chiamata dallo Stoppani, perchè fin dal suo principio abbondano le prove molteplici del dominio dell'Uomo, per quanto vi sia chi ritenga che già l'Uomo primitivo esistesse verso la fine del Cenozoico.

I fenomeni orogenici, che già a diverse riprese si erano manifestati durante l'Era precedente, assumono con l'Antropozoico un'intensità straordinaria, con corrugamenti, pieghe, numerose e profonde fratture accompagnate da spostamenti verticali, ecc. Si ha quindi una notevole emersione dei continenti che in parte assumono configurazioni nuove, quali si può dire conservano ancora oggi; i rilievi terrestri non solo si accentuano, ma subiscono un'ultima spinta che li solleva localmente di oltre 1000 metri.

Un'altra conseguenza dei fenomeni orogenici fu naturalmente una recrudescenza nell'attività vulcanica, con grandiose eruzioni, a tipo sia acido che basico, che si verificarono specialmente nelle regioni del Pacifico, del Mediterraneo e dell'Africa Orientale.

Le condizioni climateriche subirono del pari forti modificazioni regionali; le stagioni non solo si accentuarono, ma accrebbero il loro rigorismo, estendendosi le regioni temperate a spese di quelle primitivamente calde, con un abbassamento generale della media temperatura della Terra. Un fatto specialissimo poi si verificò e fu, per cause ancora ignote o discusse, una precipitazione straordinariamente abbondante, sia in forma di pioggia nelle regioni inferiori, che di neve nelle parti elevate.

Conseguenza diretta di tali precipitazioni fu il *fenomeno diluvio-glaciale,* che caratterizzò il primo periodo dell'Era quaternaria, il quale si usa indicare con i nomi di *Pleistocenico, Diluviale* o *Sahariano.*

Si ebbe in esso uno sviluppo enorme, straordinario, dei ghiacciai, che invasero non solo le valli ma discesero nelle pianure costruendo imponenti morene e provocando quelle varie formazioni restate a testimoniare del loro avanzamento. Ben a ragione quindi questo sviluppo dei ghiacciai, estesosi ad ogni regione della Terra, valse al periodo anche il nome di *Glaciale*. Contemporaneamente enormi corsi d'acqua provocavano nelle regioni depresse alluvionamenti grandiosi, accumulandovi ciottoli, ghiaie, sabbie e limo.

Si capisce facilmente che mutamenti così profondi nelle condizioni mesologiche abbiano portato una vera rivoluzione biologica, con la distruzione di numerose specie, l'emigrazione di altre verso le regioni temperate-calde o speciali adattamenti ai nuovi ambienti.

Fra le specie di Mammiferi scomparsi in quel tempo si possono ricordare parecchi Elefanti, fra cui l'*Elephas primigenius* (Mammut), Rinoceronti, Ippopotami e numerosi Carnivori (*Ursus spelaeus, Hyaena spelaea, Felis spelaeus,* ecc.).

Diminuendo gradatamente l'intensità dei fenomeni orogenici fino al cessare di essi e ristabilendosi l'equilibrio atmosferico dapprima così profondamente turbato, andarono rallentandosi pure i fenomeni eruttivi e quelli diluvio-glaciali, per cui a poco a poco si passò ad un secondo periodo, *olocene* od *alluviale,* che è quello, si può dire, che dura tuttora.

Diminuirono le precipitazioni e quindi i ghiacciai si ritirarono rapidamente; continuò, ma molto meno intensa, la denudazione e l'erosione dei rilievi continentali; i fiumi si ridussero in alvei a confini definiti e cominciarono a scavare più o meno profondamente il loro letto, dando luogo anche sovente a formazione di terrazzi.

Dal principio dell'Era antropozoica ai giorni nostri non dev'essere trascorso un grande spazio di tempo, tutt'al più poche diecine di migliaia d'anni; ben poca cosa quindi in confronto alla lunga serie di secoli che si sono succeduti non soltanto dall'epoca della consolidazione terrestre, ma anche soltanto dallo sviluppo degli organismi.

INDICE ANALITICO-ALFABETICO

A

Ablazione, *pag.* 141.
Acacia, 271, 274.
Accessori (minerali), 221.
Acer, 265, 273.
Acerotherium, 275.
Acide (lave), 195.
Aconcagua, 38.
Acqua di cava, 101.
Acqua potabile, 104.
Acque giovanili, 168.
» minerali, 103, 168.
» selvagge, 114.
» subalveali, 125.
» termali, 103, 168.
Acrocori, 43.
Actaconella, 266.
Adapis, 272, 273.
Afanitiche (rocce), 220.
Afelio, 10.
Affioramento, 235.
Affluenti, 118.
Agassiz, 133, 160.
Agricola, 3.
Airy, 9.
Aitken, 20.
Alabastro, 225, 226.
Alberese (calcare), 225, 264.
Alberti, 258.
Albite, 222.
Alicole (piante), 67.
Alios, 114.
Alisei, 26.
Alloctona (formazione), 164.
Allotigene (rocce), 223.
Allotriomorfi (minerali), 220.
Alluminifere (acque), 170.
Alluviale (periodo), 277.
Alluvionale (suolo), 67.
Alluvioni, 123.
Alluvium, 67.
Alnus, 273.
Aloidi, 221.
Alofite (piante), 66.
Altipiani, *pag.* 43.
Alveo, 42.
Amba, 41.
Ambra, 273.
Amigdaloide (struttura), 223.
Ammoniaca, 19.
Ammoniti, 259, 260, 261, 266.
Amphistegina, 273.
Ampullaria, 273.
Anagenite, 229.
Anamesite, 228.
Ananchytes, 265.
Anchotherium, 275.
Ancillaria, 274.
Ancyloceras, 266.
Ancylotherium, 275.
Andesina, 222.
Andesite, 228.
Anfibolite, 226.
Anfibolo, 222.
Anfiboloschisto, 226.
Anfiteatro morenico, 138.
Angolo d'affluenza, 124.
Anidride carbonica, 19.
» nitrosa, 19.
» solforosa, 19.
Anidrite, 223, 226.
Anime di sasso, 198.
Annularia, 255.
Anodonta, 251.
Anoplotherium, 273.
Anortite, 222.
Ansa, 124.
Anthracoterium, 273.
Antiche (rocce), 224.
Antichità dell'uomo, 82.
Anticlinale, 238.
Antracite, 163.
Antracolitico, 247.
Antropozoico, 276.
Apatite, 223.
Aplite, 227.
Appenninite, 256.
Ararat, 208.
Arca, *pag.* 249, 275.
Arcaica (era), 244.
Archaeopterix, 262.
Archaeozamites, 256.
Archimedipora, 256.
Arcose, 229.
Ardesia, 230.
Arenaria, 229, 264.
Arenarie variegate, 258.
Argaud, 243.
Argille, 89.
Argille scagliose, 219, 264.
Argilloschisti, 230.
Argon, 19.
Aria, 19.
Ariana (razza), 86.
Asfalto, 219.
Assiale (piano), 239.
Associazioni vegetali, 68.
Atlantide, 3.
Atlantosaurus, 262.
Atmosfera, 18.
Atolli, 43, 159.
Attinoto, 222, 226.
Attualismo, 4.
Augite, 222.
Autigene (rocce), 223.
Autoctona (formazione), 164.
Avens, 107.
Avicenna, 3.
Avicula, 259.
Avventizi (crateri), 187.
Azimut, 11.
Azoica (era), 244.

B

Bacillus carbo, *pag.* 165.
Bacino di raccoglimento, 117.
Bacino idrografico, 118.
Bactryllium, 258.
Baculites, 266.
Baille, 9.
Baily, 9.

Balantium, *pag.* 274.
Balsamo del Canadà, 221.
Banchisa, 147.
Banco, 235.
Banquise, 147.
Barboi, 218.
Bargiolina, 226.
Barisfera, 168.
Barometro, 20.
Barra, 127.
Barrande, 251.
Bartoli, 198.
Basalti, 195.
Basaltiche (lave), 195.
Basiche (lave), 195.
Bauxite, 91.
Beccari, 3.
Bechi, 217.
Belemnite, 260, 261.
Belemnitella, 266.
Bellardi, 4.
Bellerophon, 249.
Belosepia, 271.
Benthos, 80.
Besimaudite, 256.
Bessel, 8.
Betula, 273.
Biancone, 264.
Bilobiti, 247.
Biogeografia, 64.
Biotite, 223.
Blatta, 249.
Blenda, 112.
Bocca, 39.
Bocca del ghiacciaio, 143.
Bocchetta, 39.
Bogheads, 255.
Bombe vulcaniche, 196.
Bora, 29.
Bore, 61.
Boriche (acque), 170.
Borico (acido), 216.
Borson, 4.
Boussingault, 199.
Bouguer, 8.
Braccio morto, 124.
Brachicefalo, 86.
Bradisismi, 160, 181.
Bramidos, 176.
Braun, 9.
Brecce, 229.
» di frizione, 241.
» ossifere, 156.
Brezze, 26, 27.
Brina, 31.
Brocchi, 4.
Brongniart, 4.
Brontidi, 176.
Brontotherium, 275.
Brontozoum, 234.
Bronzite, 222.
Brückner, 24.
Brughiera, 43, 90.
Buchanan, *pag.* 89.
Bundsandstein, 258.
Bussola da geologo, 236.

C

Calamites, *pag.* 255, 258.
Calcare, 225.
Calcari fitogenici, 156.
Calcari zoogenici, 156.
Calce, 225.
Calcefiro, 225.
Calceola, 251.
Calceschisto, 229.
Calciche (acque), 170.
Calcicole (piante), 67.
Calcifughe (piante), 67.
Calcite, 222.
Calcopirite, 221.
Caldaie dei giganti, 121.
Caldeiras, 122, 215.
Calme equatoriali, 26.
» tropicali, 27.
Cambriano, 247.
Camino, 186.
Camitiche (razze), 86.
Camphora, 274.
Campos, 43.
Camus, 8.
Canale morto, 124.
Canons, 120.
Caolinizzazione, 89.
Caolino, 89.
Caracorum, 38.
Carbonate (acque), 171.
Carbonati, 87, 222.
Carboni fossili, 163.
Carbonifero (periodo), 163, 247.
Carbonio, 19.
Carbonizzazione, 163, 234.
Carcharodon, 272.
Cardita, 271, 273, 275.
Cardium, 271, 273.
Carex, 162.
Carlini, 9.
Carniola, 226.
Carpinus, 273.
Carreggiamenti, 240.
Carsici (fenomeni), 106.
Carso, 106.
Carte geografiche, 11.
Carya, 274.
Cascata, 120.
Cassia, 274.
Cassini, 7.
Cassiniani, 7.
Cassis, 274.
Cataclismi, 4.
Catavotre, 106.
Catene montuose, 38.
Catullo, 4.
Caucaso, 38.
Causses, *pag.* 107.
Cavendish, 9.
Caverne, 107.
Cavernicoli (animali), 76.
Cavernosa (struttura), 223.
Cebochaerus, 272.
Cedrus, 265.
Cellepora, 274.
Cellulosa, 165.
Celsius, 8.
Cemento, 226.
Cenere vulcanica, 192.
Cenozoico, 267.
Cephalaspis, 252.
Ceratites, 259.
Ceratodus, 252, 259.
Cerithium, 271, 274.
Cerniera, 239.
Cervidi, 276.
Chaenopus, 278.
Chaetetes, 256.
Chamsin, 29.
Chara, 273.
Charpentier, 133.
Chelone, 272.
Chirotherium, 231.
Chotts, 44.
Cicloni, 28.
Cidaris, 261,
Cinnamomum, 273, 274.
Ciottoli striati, 137.
Cipollino, 225.
Circhi lunari, 16.
Cirri, 31.
Cirri-cumuli, 31.
Cirri-strati, 31.
Cithaera, 273.
Clarke, 8.
Clastica (struttura), 223.
Clastiche (rocce), 229.
Claude Gay, 184.
Climi, 22.
Clinometro, 236.
Clipeastro, 271.
Clorite, 223.
Cloritoschisto, 227.
Cloroidriche (acque), 169.
Clorurate (acque), 169.
Clypeaster, 271.
Codonaster, 256.
Colate, 193.
Colli, 39.
Colline semoventi, 97.
Colluviale, 68.
Colluvium, 68.
Colme, 39.
Colonna, 3.
Colonnari (lave), 202.
Composte (rocce), 220.
Concrezioni, 109.
Confetto di Tivoli, 111.
Congiunzioni, 60.
Conglomerato, 229.

Cono di deiezione, *pag.* 117, 123.
Cono vulcanico, 186.
Continenti, 35.
Contrafforti, 39.
Contro-alisei, 26.
Conus, 274.
Coproliti, 158.
Coralline (isole), 159.
Corbula, 273.
Corbulamya, 273.
Cordaites, 256.
Cordoni litoranei, 127, 130.
Cornu, 9.
Corona solare, 15.
Coronio, 15.
Corrosione, 94.
Correnti marine, 61.
Corrugamento, 242.
Corsaglia, 4.
Cotidali (linee), 60.
Cotopaxi, 189.
Craie, 156.
Crassatella, 271, 273.
Cratere, 186.
Crateri lunari, 16.
Crenaster, 273.
Crepacci, 135.
Creta, 156, 225, 263.
Cretaceo, 156, 263.
Creta fosfatata, 158.
Cricetodon, 275.
Cripton, 19.
Crittomere (rocce), 220.
Crivetz, 29.
Crocodilus, 272.
Cromosfera, 13.
Cumuli, 31.
Cumuli-strati, 31.
Cupressocrinus, 251.
Curioni, 4.
Cuvier, 4.
Cuvieria, 274.
Cyathocrinus, 249.
Cypraea, 275.
Cyprina, 273.
Cyrena, 273.
Cytherea, 271.

D

Damour, *pag.* 216.
Dana, 244.
Darwin, 160.
Dasornis, 272.
Daubrée, 169, 241.
Dawson, 245.
De Beaumont, 4.
De Lapparent, 125, 182.
Delphinula, 273.
Delta, 127.
Delta lacustre, 128.
» torrenziale, 129.
Deltazione, *pag.* 118, 126.
De Martonne, 22.
Deposito di espandimento, 117.
De Saussure, 4, 133.
Descartes, 3.
Deserti, 43, 93.
Deshayesia, 273.
Detrito di falda, 92.
Devoniano, 251.
Diabasi, 228.
Diaclasi, 241.
Diallagio, 222.
Diasporo, 90.
Diaspri, 157, 226.
Diatomee, 162.
Dicchi, 186, 236.
Diceras, 261.
Didelphys, 259, 272.
Diluvio, 2.
Dimorphodon, 260.
Dinosauri, 262, 266.
Diopside, 222.
Diorite, 227.
Direzione (strato), 236.
Dirupo, 151.
Discordanza (strati), 237.
Disgelo, 91.
Disseccamento, 93.
Dolerite, 228.
Dolicocefalo, 86.
Doline, 106.
Dolomia, 226,
Dolomite, 222, 225.
Dolomitimazione, 226.
Dominii vegetali, 76.
» zoologici, 77.
Dorygnathus, 260.
Dracaena, 271.
Dune, 96, 160.
Dune d'ostacolo, 97.
Dufrénoy, 4.

E

Echinocyamus, *pag.* 273.
Echinolampas, 273.
Echinosphaerites, 219.
Echistotermi (piante), 64.
Eclittica, 10.
Eclogite, 229.
Ecologia, 64.
Effusive (rocce), 224.
Elbruz, 38.
Elementi nativi, 221.
Elephas primigenius, 233, 277.
Elgon, 127.
Elie De Beaumont, 4, 198.
Elio, 19.
Eluviale, 68.
Eluvium, 68.
Ematite, 221.
Emanazioni, *pag.* 202.
Emersione, 182.
Empedocle, 3.
Emisferi, 35.
Emys, 272.
Encrinus liliiformis, 258.
Endodinamica, 4.
Eneolitica (fase), 83.
Enstatite, 222.
Eocene, 270.
Eophyton, 247.
Eophyllum, 245.
Eozoon, 245.
Epiasse, 174.
Epicentro, 174.
Epifite (piante), 68.
Episismi, 180.
Epoche, 244.
Epomeo, 188.
Equinozi, 10.
Era, 244.
Eraclito, 3.
Eratostene, 7.
Erebus, 38.
Erosione glaciale, 143.
Eruttive (rocce), 224.
» (formazioni), 235.
Eschara, 274.
Esodinamica, 4.
Espandimento, 236.
Esplosione, 190.
Estuario, 126.
Essenziali (minerali), 220.
Età, 244.
Eteri del petrolio, 218.
Eterotermi (animali), 80.
Etesiani (venti), 27.
Etna, 187.
Eucalyptocrinus, 251.
Eucalyptus, 271.
Eufotide, 228.
Euphyllum, 245.
Euploromi, 85.
Eurialini (animali), 80.
Euritermi (animali), 80.
Eurypterus, 249.
Everest, 38.
Exogyra, 261.
Extratropicali (venti), 27.

F

Facule, *pag.* 14.
Faglia, 239, 241.
Faille, 241.
Falda acquea, 102.
Falda freatica, 102, 105.
Falde profonde, 102.
Falaises 151.
Fanghi marini, 154.
Fantocci del loess, 100.
Faraglioni, 153.
Farina fossile, 161.

Farina S. Fiora, *pag.* 161.
Fascie fangose, 142.
Favonius, 29.
Favosites, 249.
Faye, 8.
Feldspati, 222.
Feldspatiche (rocce), 228.
Felis spelaeus, 277.
Ferrettizzazione, 90.
Ferretto, 90.
Ferrifere (acque), 170.
Ferro delle paludi, 161.
Ficus, 265, 273, 274.
Filone, 226.
» (fiume) 123.
» (ghiacciaio), 133.
Fiorite, 161.
Fitogeografia, 64.
Fitomorfosi, 233.
Fiumara, 118.
Fiumi, 49.
Fiumi - torrenti, 117.
Fjords, 146.
Flabellaria, 273.
Fluorite, 221.
Flusso, 58.
Flysch, 271.
Föhn, 29.
Foibe, 106.
Fonolite, 195,
Fontane ardenti, 218.
Forbes, 133.
Forcella, 39.
Fori a vento, 205.
Formazioni, 234.
Forre, 119.
Fosfati, 223.
Fosforite, 157, 264.
Fossili, 230.
Fossilizzazione, 230.
Fotosfera, 13.
Frammentaria (struttura), 228.
Frane, 112.
Fratture, 241.
Fratture lunari, 17.
Fremito iniziale, 180.
Ftanite, 226.
Fuchs, 207.
Fucoidi, 247, 251.
Fulgurite, 94.
Fulmine, 94.
Fumarole, 195, 202.
Funghi dei ghiacciai, 142.
» di pietra, 114.
Fushiama, 38.
Fusulina, 256.
Fusus, 271, 274.

G

Gabbro, *pag.* 228.
Galets, 153.
Gastaldi, *pag.* 4, 229, 245.
Gastornis, 272.
Gay-Lussac, 169.
Gelicole (piante), 67.
Gelo, 91.
Gemmellaro, 4.
Geoagronomia, 5.
Geognosia, 4.
Geoide, 7.
Geologia agraria, 5.
Gervillia, 259.
Gessetto, 225.
Gesso, 223, 226.
Gesso-solfifera (formazione) 275.
Geyser, 213.
Geyserite, 216, 226.
Ghiacciaio, 132.
Ghiacciai polari, 145.
Ghiaccio, 132.
Giacimenti, 241.
Gibbsite, 90.
Gilbert G. K., 210.
Ginko, 267.
Giove, 15.
» Serapide, 185.
Giulio, 9.
Giura, 261.
Glaciale (periodo), 277.
Glaciazioni, 148.
Glauconite, 155, 264.
Gletscherfresser, 29.
Globigerine, 265.
Glybtostrobus, 273, 274.
Gneiss, 229.
Godin, 8.
Godwin-Austin, 38.
Gole, 119.
Gomito di affluenza, 124.
Goniatites, 256.
Graben, 42, 242.
Gradini, 42.
Grado geotermico, 166.
Grafite, 221.
Granatite, 226, 227, 229.
Granato, 222, 226.
Grandine, 34.
Granitite, 227.
Granito, 227.
Granitone, 228.
Granulare (struttura), 223.
Granulari (roccie) 225.
Graptoliti, 249.
Gratacap, 245.
Gregory, 245.
Grès bigarrés, 258.
Grezzoni, 260.
Grossularia, 222.
Grotta del cane, 205.
Grotte, 107.
Gryphaea, 260, 261.
Guano, 158.
Guiscardi, 4.
Gulf-Stream, *pag.* 62.
Gunug-Tauger, 187.
Gur, 96.
Gyroporella, 258.

H

Habitat, *pag.* 64, 78.
Hahn, 249.
Halite, 221.
Haliterium, 275.
Halobia, 259.
Halysites, 249.
Hamites, 266.
Harmattan, 29.
Hauyna, 222.
Hauynofiro, 195, 228.
Hecla, 208.
Hedera, 265.
Helix, 271, 275.
Helmert, 8.
Helminthoidea, 273.
Helminthopsis, 273.
Hesperornis, 266.
Highlands, 114.
Hipparion, 275.
Hoang-Ho, 57.
Horst, 39, 243.
Humboldt, 4.
Humus, 67.
Huroniano, 245.
Hutton, 3, 8.
Huttonisti, 3.
Huxley, 76.
Hverir, 213.
Hyaena, 277.
Hyaenarctos, 277.
Hyotherium, 275.
Hyracoterium, 272.

I

Ibernanti (animali), *pag.* 76.
Ice-berg, 146.
Ichtyornis, 270.
Idiomorfi (minerali), 220.
Idrargillite, 90.
Idratazione, 87.
Idrofite (piante), 66.
Idrogeno, 19.
» solforato, 19.
Igrofite (piante), 66.
Igrometri, 30.
Igroscopi, 30.
Iguanodonti, 266.
Ilmenite, 195.
Imalaia, 38.
Immersione (strato) 236.
Impronte, 234.
Inclinazione (strato), 236.
Inclusi, 197.
Incrostazioni, 109.
Indo-europea (razza), 86.

Infralias, *pag.* 261.
Inglutidor, 106.
Inlandsis, 148.
Inocerami, 265.
Interglaciali (fasi), 148.
Intrusive (rocce), 224.
Iperboree (razze), 85.
Iperstene, 222.
Iperstenite, 228.
Ipocentro, 174.
Ippopotamo, 276.
Ippuriti, 266.
Isobare, 20.
Isobarometriche (linee), 20.
Isochimene, 22.
Isole, 43.
» di corrosione, 124.
» di deiezione, 123, 124.
Isorachie, 60.
Isotere, 22.
Isoterme, 22.
Isotermiche (linee), 22.
Issel, 180, 181.
Ittiosauri, 259, 260, 262, 266.
Iuglans, 271.

J

James, *pag.* 8.
Johnston Lavis, 245.
Jorullo, 199.

K

Kanchanjunga, *pag.* 38.
Kant, 18.
Karrenfelder, 90.
Karroomys, 256.
Kenya, 38, 187.
Keuper, 258.
Kieselguhr, 161.
Kilanea, 193.
Kilimandjaro, 38, 187.
Kircher, 3.
Kjoekkenmoeddings, 165, 182.
Köppen, 70.
Krakatoa, 190.

L

Labirintodonti, *pag.* 256.
Labradorite, 222.
Laccoliti, 210.
La Condamine, 8.
Lacroix, 193.
Laghi, 43.
Lagoni, 216.
Lagune, 130, 159.
Lamarck, 4.
Lamia, 272.
Lande, 43, 67.
Langar, 213.
Lapiez, *pag.* 90.
Lapilli, 192.
Lapis tiburtinus, 111.
Laplace, 4, 17.
Laramie (Epoca di), 257, 267.
Lariosauri, 259.
Later, 89.
Laterite, 82.
Laterizzazione, 89.
Latitudine, 11.
Laurenziano, 245.
Laurus, 271, 274.
Lava, 193.
Lave cordate, 196.
Layer, 260.
Lazzaro Moro, 3.
Legno silicizzato, 233.
Lehm, 101, 138.
Leibnitz, 3.
Leonardo da Vinci, 3.
Lepidocyclina, 271.
Lepidodendron, 255.
Leptaena, 249.
Letto fluviale, 118.
Leucite, 195.
Leucitite, 195.
Leucitofiro, 195.
Leucoderma, 85.
Leucosfera, 14.
Leucotefrite, 195.
Lherzolite, 229.
Liane, 68.
Liais, 18, 32.
Lias, 260.
Libellula, 275.
Libocedrus, 273.
Lido, 130.
Lignite, 163, 269.
Lima, 275.
Limite delle nevi, 22, 131.
Limonite, 87.
Limonite delle torbiere, 162.
Limonitizzazione, 88.
Linea di displuvio, 39.
Lingula, 247.
Liparite, 195.
Lissotrichi, 85.
Litantrace, 163.
Lithothamnium, 271, 274.
Litoclasi, 241.
Litologia, 4.
Litosfera, 7, 168.
Livello idrostatico, 102.
Llanos, 43.
Loess, 99.
Logan, 38, 245.
Longitudine, 11.
Loxonema, 251.
Lucina, 271.
Luna, 16.
Lyell, 4, 270.

M

Maare, *pag.* 187.
Maccalube, 218.
Macchie solari, 14.
Macigno, 229, 272.
Mac Mullen, 245.
Macromere (rocce), 220.
Macrosismi, 171.
Macrotherium, 275.
Madreporiche (isole), 159.
Magma, 223.
Magnesiache (acque), 170.
Magnetismo terrestre, 9.
Magnetite, 222, 284.
Magnolia, 265.
Maiolica, 264.
Malachite, 87.
Malese (razza), 85.
Mammut, 277.
Marcassite, 221.
Marea, 58.
Mare dei Sargassi, 62.
Maremoti, 177.
Mari lunari, 16.
Marmi, 225, 227.
Marmitte dei Giganti, 121.
Marna, 226.
Marnaggio, 226.
Marne iridate, 258.
Marte, 15.
Mascaret, 60.
Maskelyne, 8.
Massi erratici, 144.
Mastodonti, 246.
Mauna Kea, 38.
Mauna Loa, 38, 187.
Maupertuis, 8.
Meandri, 123.
Meandropora, 274.
Megalodon, 258.
Megalornis, 272.
Megaterme (piante), 64.
Melania, 271, 273.
Melanocroide (razza), 86.
Mendenhall, 8.
Meneghini, 4.
Mercalli, 175.
Mercurio, 15.
Meridiano, 11.
Mesaticefalo, 85.
Mesocefalo, 86.
Mesofite (piante), 66.
Mesopithecus, 275.
Mesoterme (piante), 64.
Mesozoico, 257.
Metallica (fase), 83.
Metamorfiche (rocce), 224.
» (formazioni), 235.
Metamorfismo, 224.
Metargon, 19.
Meteoriti, 9.
Mica, 223.

Micaschisto, *pag.* 229.
Michelinia, 256.
Michelotti, 4.
Micraster, 265.
Microccus lignitum, 165.
Micromere (rocce), 220.
Microsismi, 171.
Microterme (piante), 64.
Migrazioni, 77.
Mimetismo, 77.
Mimosa, 273.
Minerali (acque), 103, 168.
Minetta, 227.
Miocene, 274.
Miogypsina, 271.
Mistral, 29.
Mobilismo (teoria), 243.
Möbius, 80,
Modelli, 234.
Moffette, 205.
Molini, 142.
Monoclinale, 239.
Monsoni, 26, 27.
Montagne, 242.
» lunari, 16.
Monte Bianco, 38.
Monte Somma, 188.
Montessus de Ballore, 181.
Monti Centenari, 187.
Monti Cimini, 187.
Monti Rossi, 187.
Moorland pan, 114.
Morene, 136.
Murchison, 251.
Murex, 274.
Murray, 160.
Muschelkalk, 258.
Muscovite, 223.
Myrica, 274.

N

Nasini, *pag.* 15.
Nassa, 274.
Natica, 271, 273.
Natron, 171.
Nautilus, 262, 271, 274.
Nebbie, 31.
Necrolemur, 273.
Nefelina, 195.
Nefelinite, 195.
Nefelinofiro, 195.
Nefelite, 222.
Nehrung, 130.
Nekton, 80.
Nembi, 31.
Nemertiliti, 247, 273.
Neolitica (fase), 83.
Neon, 18.
Nereites, 247.
Nerinaea, 261, 266.
Nettunisti, 2.
Nettuno, 16.
Neuropteris, *pag.* 251.
Neve, 34.
Nevischio, 132.
Newton, 7.
Newtoniani, 7.
Nife, 9.
Non feldspatiche (rocce), 229.
Nubi, 31.
Nuées ardentes, 193.
Nulliporites, 273.
Nummuliti, 271, 273.
Nuvolo, 32.
Nymphaea, 273.

O

Oceanografia, *pag.* 53.
Odontaspis, 272.
Odontopteris, 255.
Oficalce, 227.
Ofisilice, 227.
Old Faithful, 215.
Oldhamia, 247, 248.
Old red sandstone, 251.
Oligocene, 272.
Oligoclase, 222.
Olivina, 222.
Olocene, 277.
Omboni, 4.
Onde, 58.
Ooliti, 111.
Opale, 221, 226.
Ora di porto, 60.
Orbitoides, 271, 273.
Orbitolina, 265.
Oreopithecus, 275.
Originarie (rocce), 223. 225.
Orizaba, 38.
Orneblenda, 222, 226.
Orohippus, 272.
Orogenesi, 242.
Orthis, 247.
Orthoceras, 247, 249.
Orthophragmina, 271.
Ortoclase, 222.
Ortosio, 222.
Ortstein, 114.
Osmunda, 273.
Ossidazioni, 87.
Ossidi 221.
Ossidiana, 195.
Ossigeno, 18.
Ostrea, 165, 260, 265, 271, 273.
Ostreiras, 165.
Ovardite, 229.
Ozono, 18, 87.

P

Pachydiscus, *pag.* 262.
Pachynolophus, 272.
Pahochoe (lave), *pag.* 196.
Palaechinus, 256.
Palaeocherus, 273, 275.
Palaeodictyon, 273,
Palaeoniscus, 256.
Palaeotherium, 272, 273.
Paleobotanica, 230.
Paleofitologia, 4, 230.
Paleolitica (fase), 83.
Paleontologia, 4, 230.
Paleozoico, 246.
Paleozoologia, 4, 230.
Palissy, 3.
Paludi, 49.
Pampas, 43.
Pampero, 29.
Panchina, 111.
Paraclasi, 241.
Parassite (piante), 68.
Parassiti (crateri), 187.
Pareto, 4.
Passi, 39.
Pecopteris, 255.
Pecten, 271, 275,
Pectunculus, 273.
Pedologia, 66.
Pegmatite, 227.
Pelagosite, 155.
Penck, 184.
Peneplani, 43, 246.
Pensili (fiumi), 125.
Pentacrinus, 261.
Pentamerus, 251.
Perielio, 10.
Periodi, 244.
Permiano, 247, 252.
Permo-carbonifero, 252.
Petrificazione dune, 99.
Petrolio, 218.
Phaenicites, 273.
Phaenix, 271.
Phillipsia, 256.
Pholadomya, 273.
Physa, 271.
Piano di rigetto, 241.
Piano di scorrimento, 241.
Pianure, 42.
Picrite, 229.
Piega-faglia, 240.
Piega-rigetto, 240.
Pietra forte, 229, 264.
Pietre-verdi, 229, 245, 258, 260.
Pila, 255.
Pilla, 4.
Pinus, 261, 265.
» succinifer, 273.
Pioggia, 32.
Pioggia d'inchiostro, 95.
Pioggia di sabbia, 94.
Pioggia di sangue, 95.
Pioggia di solfo, 95.
Piperino, 230.

Piramidi di erosione, *p.* 114.
Pirite, 221.
Pirosfera, 166.
Pirosseno, 222.
Pirrotina, 221.
Pisoliti, 111.
Pisolitica (struttura), 111.
Pitagora, 3.
Plagioclasi, 222.
Plagiozamites, 256.
Plankton, 80.
Plasticità (ghiacciaio), 134.
Platanus, 265.
Platone, 3.
Pleistosistica (area), 174.
Plesiosauri, 259, 260, 262.
Plesiosorex, 273.
Pleurotoma, 273.
Pleurotomaria, 251, 259, 261.
Pliniana (fase), 190.
Plinio, 191.
Pliocene, 270.
Pliopithecus, 275.
Plutarco, 2.
Plutoniche (rocce), 224.
Plutonisti, 2.
Poey, 31.
Polder, 42, 131.
Polisintetico (ghiacciaio), 136.
Polla, 104.
Pomice, 195.
Ponzi, 4.
Popocatepelt, 188.
Populus, 265.
Porcellanite, 198, 230.
Porfido felsitico, 227.
» labradorico, 228.
» non quarzifero, 227.
» quarzifero, 227.
» rosso antico; 228.
» verde antico, 228.
Porfirica (struttura), 223.
Porfiriche (rocce), 225.
Porfirite, 228.
Pororoca, 61.
Porosa (struttura), 223.
Porta (ghiacciaio), 137, 143.
Portata (fiume), 51.
Posydonomia, 256, 261.
Potamides, 273.
Potenza (strato), 235.
Pouillet, 20.
Poynting 9.
Pozzi 105.
» artesiani 105.
» modenesi 105.
» trivellati 105.
Pozzolana 230.
Prasinite, 229.
Praterie, 43.
Precambriano, 245.
Preparati microscopici, *pagina* 221.
Pressione atmosferica, 19.
Primitive (rocce), 225.
Prismatiche (lave), 202.
Productus, 256.
Profondità geotermica, 166.
Protogino, 227.
Protospongia, 247.
Protuberanze solari, 14.
Pseudomorfosi, 233.
Pseudo-stratificazione, 236.
Pterodattili, 262, 266.
Pterygotus, 251.
Pulviscolo atmosferico, 19.
Punta Margherita, 38.
Putizze, 218.
Putzas, 42.
Pygope. 261.
Pyrula, 273.

Q

Quarzite *pag.* 226.
Quarzo, 221.
Quaternario, 276.
Quercus, 265, 273, 274.

R

Radiopora *pag.* 274.
Ramsay, 19.
Rapide, 120.
Rascles, 90.
Rayleigh, 19.
Razze umane, 83.
Recanti (rocce), 224.
Regioni floristiche, 70.
Regioni zoologiche, 78.
Reich, 9.
Reinschia, 255.
Relitti (laghi), 45.
Retico, 261.
Retinite, 227.
Retzia, 258.
Reylegh, 243.
Rhinoceros, 273.
Rhinoceros Merckii, 231.
Rhinolophus, 273.
Richthofen, 101.
Rift, 42, 208, 242.
Riflusso, 58.
Rigelo, 134.
Rigetto, 239, 241.
Rilievi, 37.
Rinoceronti, 275.
Rocce, 220.
Roches moutonnées 93, 143.
Rostellaria, 266, 271.
Rubefazione, 88.
Rudiste 266.
Rugiada, 31.
Rutilo, 222.
Ruwenzori, *pag.* 38.
Rynchonella, 251.

S

Sabal, *pag.* 273, 274.
Sabbia, 69.
Sacco, 16.
Sahariano, 277.
Sainte - Claire - Deville, 4, 203.
Salinelle, 218.
Salisburia, 265.
Salix, 265.
Salse, 218.
Salsedine, 44.
Samun, 29.
Sanidino, 222.
Sant'Elia, 38.
Saprofite (piante), 68.
Sassafras, 271.
Saturno, 15
Savane, 43.
Scaglia, 264.
Schiaparelli, 15.
Schistosa (struttura), 224.
Schistose (rocce), 225.
Schizaster, 274.
Sclater, 76.
Scogliere madreporiche 159.
Scoriacea (struttura), 223.
Scorie, 192.
Scoscendimenti, 112.
Scutella, 273, 274.
Scyphia, 261.
Secchi, 18.
Secondarie (rocce), 225.
Secondaria (era), 257.
Sedgwick, 247.
Sedimentarie (rocce), 224.
» formazioni, 235.
Seguenza, 4.
Seismi, 171.
Selenitose (acque), 170.
Selle, 39.
Semitiche (razze) 86.
Semplici (rocce), 220, 225.
Sequoia, 265, 273, 274.
Seracchi, 135.
Serpentinizzazione 227.
Serpentino, 223, 226.
Serpentinoschisto, 226.
Serpula, 274.
Sfagni, 162.
Sfeno, 223.
Shell-heaps, 165.
Sial, 9, 243.
Siderolitico (terreno), 273.
Sienite, 227.
Sigillaria, 255.
Sigizie, 59.
Silicati, 222.

Silicee (acque), *pag.* 171.
Silicicole (piante), 67.
Siluriano, 248.
Sima, 9, 37.
Simun, 29.
Sinclinale, 238.
Sirocco, 29.
Sismi, 171.
Sismografi, 179.
Sismogrammi, 180.
Sismometri, 179.
Sismometrografi, 179.
Sismonda, 4.
Sismoscopi, 179.
Smith W., 4.
Smottamento, 113.
Sodiche (acque), 170.
Soffioni, 216.
Sole, 13.
Solfati 223.
Solfatiche (acque), 170.
Solforiche (acque), 170.
Solfuri, 221.
Sollevamento (teoria), 242.
Solstizio, 10.
Sombrerite, 158.
Sommersione, 182.
Sorata, 38.
Sorgenti, 102.
» minerali, 103.
» termali, 103.
Sottomarine (eruzioni), 206.
Spada, 3.
Spallanzani, 198.
Spartiacque, 39.
Sphaenopteris, 251.
Spilite, 228.
Spirifer, 251, 256.
Spirillum ferrugineum, 162.
Spostamenti, 36.
Sprofondamenti (teoria), 242.
Sprugole, 106.
Squalodon, 275.
Stagioni, 10.
Stagni, 44.
Stalagmiti, 109.
Stalattiti, 109.
Stanley (Monte), 38.
Stazioni vegetali, 68.
Stella polare, 11.
Stenoalini (animali), 80.
Stenone, 3.
Stenotermi (animali), 80.
Steppe, 42.
Stokkr, 213.
Stoppani, 4.
Strati (nubi), 31.
Strato, 235.
Strie glaciali, 143.
Stromboli, 187,
Stromboliana (fase), *p.* 193.
Struttura delle rocce, 223.
Subappenninico (periodo), 275.
Suess, 9, 37, 181.
Suolo, 66.
Sus, 275.

T

Tachilite, *pag.* 195, 229.
Tafone, 94.
Tait, 52.
Talco, 223.
Talcoschisto, 227.
Talete, 2.
Talpa, 275.
Taphraelminthapsis, 273.
Tapirus, 273.
Tavolati, 246.
Tavole dei ghiacciai, 142.
Taxodium, 273, 274.
Tchernozom, 42.
Teleosauri, 262.
Telesismogramma, 180.
Tempi di consolidazione, 220.
Tentaculites, 249.
Terebratula, 271.
Terebratulina, 274.
Termali (acque , 168.
Terra, 7.
Terra d'infusori, 161.
Terra rossa, 90.
» vegetale, 89.
Terrazzi, 120, 122, 144, 151.
Terre lunari, 16.
» nere, 42, 103.
Terremoti, 171.
Terreno, 235.
» primario, 244.
» primitivo, 244.
» vegetale, 89.
Terror (vulcano), 38.
Terziaria (era), 267.
Testata (strato), 235.
Teti, 37.
Tettonica, 5, 234.
Thalweg, 42.
Thoulite, 228.
Tifoni, 27, 28.
Tipi di vegetazione, 68.
Tomboli, 99.
Tongriano, 273.
Torba, 162.
Torbiera, 162.
Tormalina, 223.
Tornados, 29.
Torrente, 117.
» -fiume, 117.
» glaciale, 143.
Toxaster, 265.
Toxoceras, 261.
Trachite, *pag.* 195.
Trachitiche (lave), 195.
Trasgressione, 237.
Travertino, 110, 225.
Tremolite, 222.
Trias, 258.
Trichoderma, 57.
Trigonia, 261.
Trilobiti, 247, 249, 252.
Tripoli, 161, 226, 274.
Trochus, 274.
Tromba, 28.
Tromometri, 179.
Trona, 171.
Tropici, 11.
Tropofilia, 66.
Trouessart, 76.
Tsunami, 178.
Tufi, 112, 230.
Tufo carparo, 99.
Tulite, 228.
Tundras, 42.
Tupungato, 38.
Turbini, 29.
Turbo, 259.
Turrilites, 269.
Turritella, 266, 271, 273, 274.
Tyndall, 133, 215.

U

Ulantropa (razza), *pag.* 84.
Ulmus, 273, 274.
Umidità atmosferica, 29.
Uncites, 251.
Unio, 271.
Urano, 15.
Urohelminthoida, 273.
Ursus spelaeus, 277.

V

Valanghe, *pag.* 132.
Valle della morte, 205.
Valichi, 39.
Valli, 41.
Vallisnieri, 3.
Vallone, 41.
Vapor acqueo, 19.
Variolite, 228.
Vaude, 43, 90.
Vedrette, 139.
Venere, 15.
Venti, 24.
Venus, 275.
Verde di Prato, 227.
Verrucano, 256.
Vespertilio, 272.
Vesuvio, 187.
Viridite, 228.
Virlet, 101.
Voltzia, 258.

Voluta, *pag.* 271, 273, 274.
Von Buch, 4.
Von Sterneck, 9.
Vulcani di fango, 218.
Vulcani spenti, 187.
Vulcano, 186, 202.
Vulture, 187.

W

Walchia, *pag.* 255.
Wallace, 76.
Wegener, 86, 243.
Werner, *pag.* 3.
Werneristi, 3.

X

Xantonaide (razza), *pag.* 86.
Xenofane, 2.
Xerofite (piante), 66.
Xiphodon, 272, 273.

Y

Yellocostone Park, 213.

Z

Zamites, *pag.* 258, 261.
Zannicheli 3.
Zenone, 2.
Zircone, 222.
Zirckel, 225,
Zona contestata, 64.
» limite, 64.
Zone luminose, 17.
Zoogeografia, 76.
Zoomorfosi, 233.
Zoophycos, 273.
Zostera, 54.

MANUALI DI SCIENZE

FISICHE E NATURALI

Chimica inorganica, del prof. FEDERICO SWARTS. — Pag. XVI-816 con 108 figure . . . . . L. 60 —

Chimica organica, del prof. FEDERICO SWARTS. — Pag. XVI-756 con 42 figure . . . . . L. 60 —

Chimica fisica, del prof. ARRIGO MAZZUCCHELLI. — Papag. XVI-504 con 63 figure e copiosi indici . . L. 50 —

Chimica vegetale e agraria, del prof. MARCO SOAVE. — *Seconda edizione corretta.* — Due volumi di complessive pag. XX-734 con 55 figure . . . . . L. 40 —

Merceologia, del prof. VALENTINO FORTINI. *Seconda edizione completamente riveduta.* — Due volumi di complessive pag. 1200 con due tavole, 546 figure ed ampio indice analitico-alfabetico . . . . . L. 60 —

Fisiologia vegetale applicata all'orticoltura, del professore HANS MOLISCH. Prefazione del professore GIOVANNI NEGRI. Traduzione del dott. A. VATOVA. — Pag. 350 con 151 figure . . . . . L. 35 —

Zoologia, del prof. RÉMY PERRIER. Prefazione del professore UMBERTO PIERANTONI. Traduzione della dottoressa MARIA RONDELLI. — Pag. XX-838 con 16 tavole e 765 figure . . . . . L. 100 —

Botanica sistematica, del prof. RICCARDO WETTSTEIN. Prefazione del prof. ORESTE MATTIROLO. Traduzione del professore A. POLI. Due volumi di oltre 1000 pagine complessive. — Vol. I, di pag. XII-512 con 325 figure L. 60 —

Geologia e Geografia fisica, del prof. ALESSANDRO ROCCATI. *Nuova edizione rifatta e completata in base ai nuovi programmi.* — Pag. VIII-288 con 175 figure . . L. 25 —

Chimica degli alimenti, del prof. GIOVANNI ISSOGLIO. — Due volumi di circa 1600 pagine complessive con numerosissime figure.

L. 25.

DIPART
3
UNIV